

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Optimalizace a standardizace uchycovacích elementů plastových
komponentů pro automobilová světla

Optimization and Standardization of Holding Elements for Plastic
Components of Car Headlights

Student:

Bc. Miroslav Hrinik

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|---|
| Student: | Bc. Miroslav Hrinik |
| Studijní program: | N2301 Strojní inženýrství |
| Studijní obor: | 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství |
| Specializace: | 40 Konstrukce strojních dílů a skupin |
| Téma: | Optimalizace a standardizace uchycovacích elementů plastových komponentů pro automobilová světlá Optimization and Standardization of Holding Elements for Plastic Components of Car Headlights |

Zásady pro vypracování:

Vypracujte:

- benchmarking současných projektů a selekce uchycovacích elementů pro diplomovou práci
- benchmarking současných projektů a stanovení nejvíce využívaných plastových materiálů pro uchycovací elementy
- návrh standardizace vybraných upevňovacích elementů v závislosti na požadovaných materiálech
- vytvoření parametrických modelů v Catia V5 pro jednotlivé vybrané elementy a materiály
- vyhodnocení „realizovatelnosti“ zadaných parametrických modelů v CATIA V5 v závislosti na výpočtu MKP metodou.

Seznam doporučené odborné literatury:

- BOLEK, A., KOCHMAN, J. AKOL. *Části strojů I a II*. Praha: SNTL, 1989. 776s. ISBN 80-03-0046-7.
- DEJL Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů*. Montanex a.s., Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3.
- BRÁT V., ROSENBERG J., JÁČ V.: *Kinematika*. SNTL/ALFA, Praha, 1987.
- MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 72 s. ISBN 978-80-248-0878-9.
- SHIGLEY, J. E., MISCHKE CH., R., BUDYNAS R., G. *Konstruování strojních součástí*. Brno: VUTUM, 2010. 1186 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

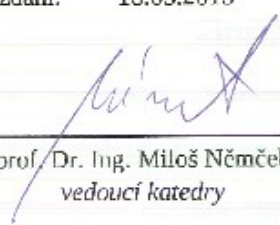
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.**


Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015





prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 11.05.2015



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 11.05.2015

Hrinič

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Miroslav Hrinik

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Gaštanová 3086/37, 010 07, Žilina-Solinky

Anotace diplomové práce

HRINIK, M. *Optimalizace a standardizace uchycovacích elementů plastových komponentů pro automobilová světla: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2015, 59 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá uchycovacími elementy používanými ve světelné technice automobilového průmyslu. V práci jsou analyzovány a pevnostně zkontrolovány na zatížení od montáže již používané elementy z vybraných materiálů. Následně jsou vytvořené nové modely obsahující pevnostní kontrolu a rozměrové omezení. Vytvořené nové standardizované parametrické modely budou použité při návrhu spojení komponentů nových projektů, kde usnadní práci konstruktérům.

Annotation of diploma thesis

HRINIK, M. *Optimization and Standardization of Holding Elements for Plastic Components of Car Headlights.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2015, 59 p. Thesis head: doc. Ing. Květoslav Kaláb, Ph.D.

This diploma thesis deals with snap-joints in regard of lightening in the field of automotive industry. There is an analysis and a strength check linked to an assembly load of used elements from the selected materials in the study. Then the new models including strength and dimension check are presented. These new standardized parametric models will be used in a design of component connection in the new projects with the aim to simplify work of designers.

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých značek | 10 |
| 1. Úvod | 11 |
| 2. Cíle práce | 12 |
| 3. Klipové spoje | 13 |
| 3.1. Typy klipových spojů | 15 |
| 3.2. Namáhání klipů při montáži | 16 |
| 4. Selekce klipů používaných firmou Varroc Lighting systems | 19 |
| 5. Materiály používané ve světelné technice firmou Varroc Lighting systems | 21 |
| 5.1. Kopolymer akrylonitril-butadién-styrén, ABS | 21 |
| 5.2. Polykarbonát, PC | 22 |
| 5.3. Směs PC a ABS | 24 |
| 5.4. Polymethylmetakrylát, PMMA | 25 |
| 6. Pevnostní analýza klipů | 26 |
| 6.1. MKP analýza | 26 |
| 6.2. Analytické pevnostní výpočty | 31 |
| 7. Tvorba parametrických modelů | 42 |
| 7.1. Postup tvorby modelů | 42 |
| 7.2. Pevnostní kontrola parametrických modelů | 42 |
| 7.3. Jednoduchý klip | 44 |
| 7.4. Pevnostní kontroly | 47 |
| 7.5. Dvojitý klip | 49 |
| 7.6. Plochý klip | 50 |
| 7.7. Generování jednoduchého klipu | 51 |
| 8. Zkouška vytvořených parametrických modelů | 55 |
| 8.1. Kontrolní pevnostní výpočet MKP | 55 |
| 9. Závěr | 59 |
| Seznam použité literatury | 61 |
| Seznam příloh | 61 |
| Příloha 1 Jednoduchý klip | 62 |
| Příloha 2 Dvojitý klip | 66 |
| Příloha 3 Plochý klip | 69 |

Seznam použitých značek

| <u>Značka</u> | <u>Jednotka</u> | <u>Význam</u> |
|-------------------|-----------------|------------------------------|
| E | MPa | modul pružnosti materiálu |
| F | N | zatěžující síla |
| F _m | N | montážní síla |
| F _{man} | N | manipulační síla |
| F _{min} | N | minimální síla |
| F _o | N | ohýbající síla |
| F _x | N | x-ová složka zatěžující síly |
| F _y | N | y-ová složka zatěžující síly |
| I | mm ⁴ | kvadratický moment |
| L | mm | délka |
| L _{celk} | mm | celková délka klipu |
| M _o | N·mm | ohybový moment |
| R | mm | poloměr zaoblení |
| R _e | MPa | mez kluzu materiálu |
| U | ° | úhel soužení klipu |
| W _o | mm ³ | průřezový modul v ohybu |
| Z | mm | odsazení zobáčku, posunutí |
| b | mm | šířka klipu |
| h | mm | hloubka klipu |
| k _c | - | bezpečnost |
| k _s | - | statická bezpečnost |
| v | mm | výška klipu |
| y | mm | posunutí, přesazení klipu |
| α | ° | náběžný úhel klipu |
| β | ° | úhel podřezání zobáčku klipu |
| σ _{red} | MPa | redukované napětí |
| σ _o | MPa | ohybové napětí |
| σ _T | MPa | tlakové napětí |
| τ | MPa | smykové napětí |

1. Úvod

V dnešní době musí konstruktér při vývoji produktu řešit mnoho kompromisů, což je časově náročné a při plnění zadaných termínů dokončení omezující. Proto je potřebné ulehčit konstruktérskou práci alespoň tam, kde je to možné. Jednou z možností je vývoj standardizovaných prvků konstrukcí, použitelných v různých projektech jen s minimálními konstrukčními změnami. Standardizací uchycovacích elementů konkrétně ve světelné technice automobilového průmyslu zjednodušíme konstrukci spojování součástí, předejdeme poruchám a opětovnému návrhu elementů.

Návrh optimálního uchycovacího elementu vyžaduje konstruktérské zkušenosti, pevnostní kontrolu a znalost CAD systému, v kterém je produkt navrhován. Všechny vyjmenované body se dají zakomponovat do návrhu standardizovaných součástí. V diplomové práci budou navrženy uchycovací elementy (klipy) podle analýzy stávajících konstrukcí klipů. Pevnostní kontrola provedena analytickým i MKP výpočtem a nakonec budou vytvořené standardizované parametrické modely v CAD programu Catia V5r18.

Vytvořené modely budou jednoduše upravitelné pomocí naprogramovaných parametrů, které dovolují upravit klip podle požadavků konstruktéra. Zároveň budou parametry omezeny pevnostními kontrolami naprogramovanými v modulu použitého softwaru s názvem Knowledge Advisor. Všechny modely budou podrobené zpětné pevnostní kontrole MKP výpočtem pro přezkoumání použitelnosti realizovaných návrhů.

2. Cíle práce

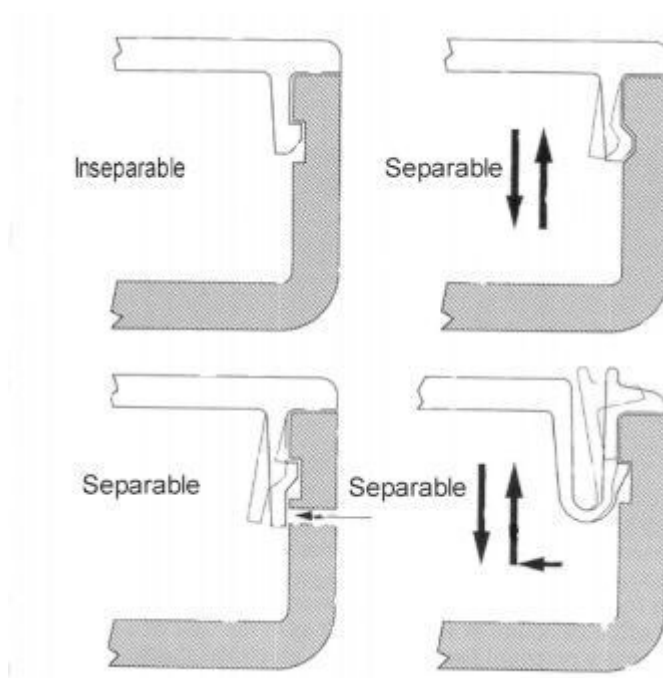
Cílem diplomové práce je vytvoření standardizovaných uchycovacích elementů pro zjednodušení práce konstruktérů.

Hlavním cílem je splnit požadavky zadání:

- benchmarking současných projektů a selekce uchycovacích elementů,
- stanovení nejvíce využívaných plastových materiálů pro uchycovací elementy,
- návrh standardizace vybraných upevňovacích elementů v závislosti na požadovaných materiálech,
- vytvoření parametrických modelů v programu Catia V5 pro jednotlivé elementy a materiály,
- vyhodnocení „realizovatelnosti“ zadaných parametrických modelů v Catia V5 v závislosti na výpočtu MKP metodou.

3. Klipové spoje

Klipové spoje jsou velice jednoduchý, ekonomický a rychlý způsob spojení dvou různých součástí. V současnosti se s tímto typem spoje setkáváme denně. Ve většině plastových výrobků jsou použité klipové spoje. Téměř každé přenosné elektronické zařízení je minimálně zakrytováno pomocí klipového spoje například mobilní telefony, dálkové ovládače, notebooky, v automobilovém průmyslu většina částí palubní desky, dokonce i vzduchotěsné krabičky na potraviny se zavírají pomocí klipů. Všechny typy klipových spojů mají společný princip, a to že vyčnívající část jednoho komponentu, například hák, čep nebo kulička se krátce vychýlí během operace spojování a uchytí lícující komponentu. Po spojovací operaci by se měl klip vrátit do původního stavu bez výraznější plastické deformace. Spoj může být rozebíratelný nebo nerozebíratelný, v závislosti od podřezání klipu. Pro nerozebíratelný spoj svírá hák klipu s tělem úhel 90° . Typ spoje umožňující jednoduché otevření má často tvar písmene U. Spoj navržený pro demontáž, může být vybaven také otvorem, pro uvolnění háku bez jeho poškození. Síla potřebná na oddělení komponent se značně liší v závislosti na designu klipu.

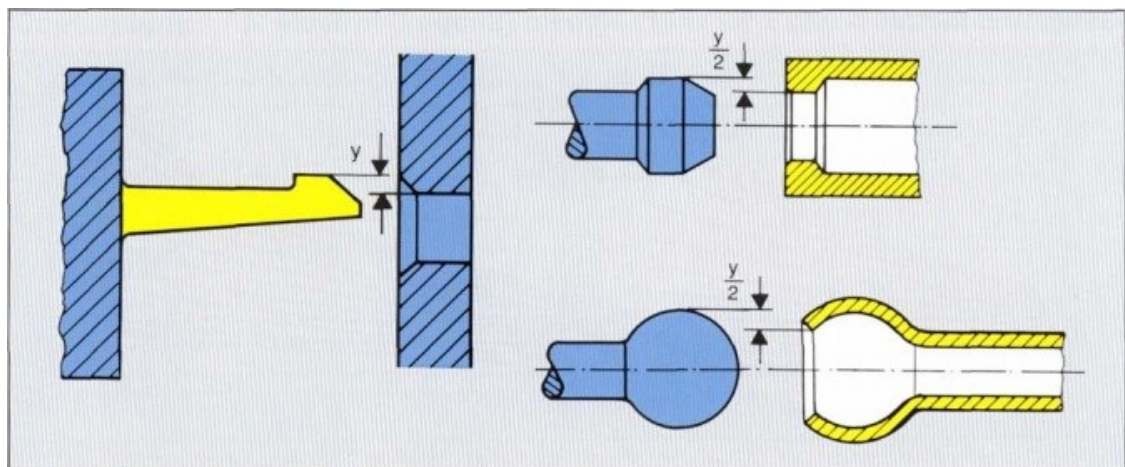


Obr. 3.1 Příklady rozebíratelných a nerozebíratelných typů klipů [2]

Nevýhodou je tendence k poruchám klipů pro nedostatečné dimenzování, nebo špatnou manipulaci. Spojovací element je ve většině případů součástí výrobku, proto je při poruše klipu znehodnocená i samotná část výrobku. Z uvedeného důvodu se v některých případech provádí předimenzování počtu uchycovacích elementů pro funkčnost výrobku i po poškození některého z klipů. Je obzvlášť důležité brát do úvahy následující faktory při navrhování klipového spoje:

- mechanické zatížení při montáži,
- potřebná síla pro montáž.

Při použití pružných spojů je potřeba dodržení úzkého tolerančního pole pro zabezpečení funkčnosti spojení. Funkce spoje je ovlivňována výslednou geometrií, tedy i stavem napětí po spojení dílů i v jeho průběhu. Nadměrné prolínání částí spoje může vést k poruše. Jeho nedostatek naopak nedostatečnou jednotu spoje.



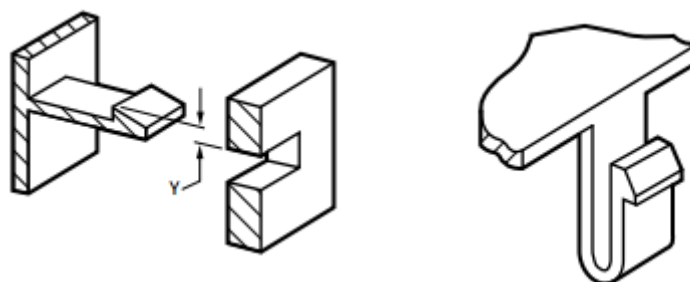
Obr. 3.2 Schéma klipů rozměry velikosti přesazení [3]

3.1. Typy klipových spojů

Pro klipové spoje existuje široká škála možností provedení. Z mnoha možností designu byly vybrány ty nejpoužívanější.

3.1.1. Konzolové klipy

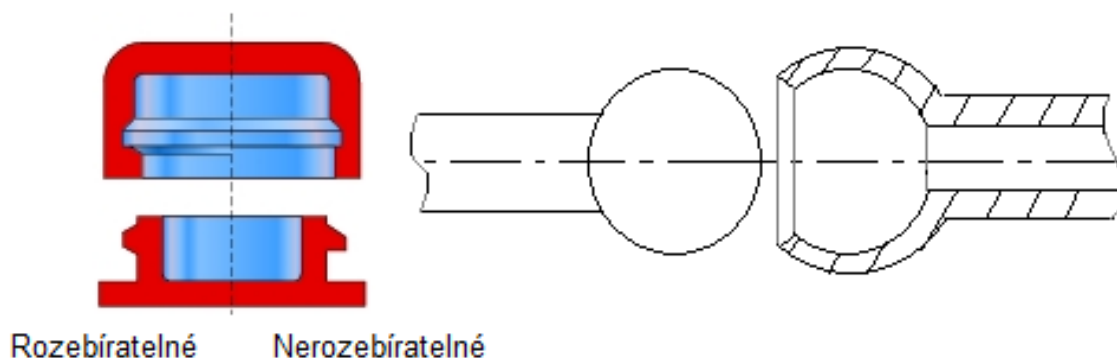
Velká část klipových spojů jsou v podstatě jednoduché konzolové západky, které mohou být obdélníkového nebo geometricky více komplexního průřezu. Doporučuje se takový návrh, ve kterém se tloušťka nebo šířka klipu zmenšuje od jeho podstavy k háčku. Takový nosný průřez v každém místě nese odpovídající zatížení při montáži.



Obr. 3.3 Konzolové klipy [4]

3.1.2. Válcové a kulové klipy

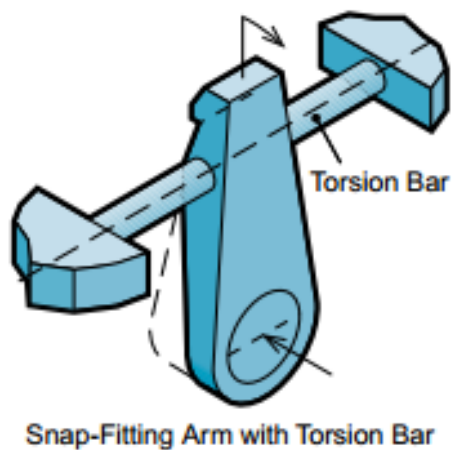
Klipy válcového a kulového tvaru jsou celkově silnější, ale potřebují větší síly při montáži i demontáži. Celková montážní a demontážní síla je složená ze síly potřebné k deformaci náboje a ze síly potřebné k překonání tření mezi klipem a nábojem. Spoje jsou navrhovány jak rozebíratelné tak i nerozebíratelné, záleží na úhlu separační plochy.



Obr. 3.4 Válcový [7] a kulový klip

3.1.3. Torzní klipy

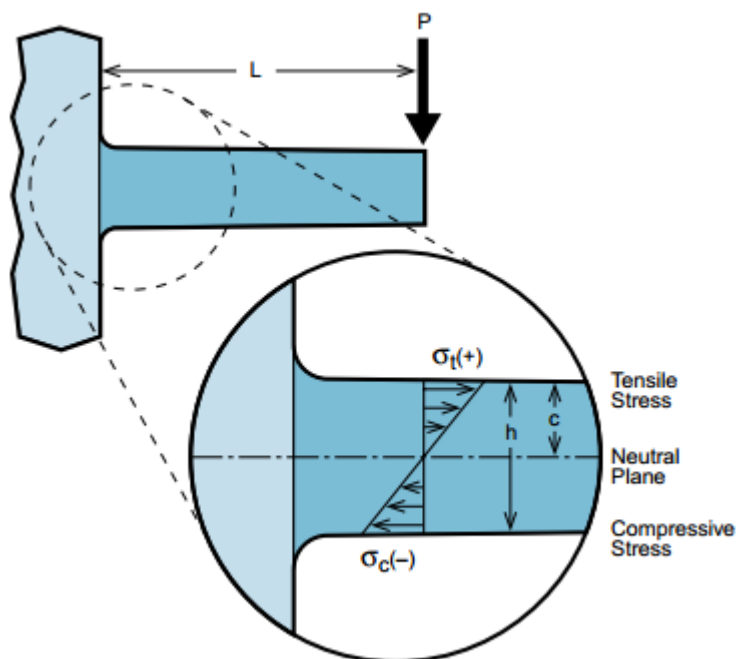
V případě torzních klipů, pohyb není výsledkem ohybu klipu zatíženého silou, ale rotací torzní části spojující klip s podporou.



Obr. 3.5 Torzní klip [3]

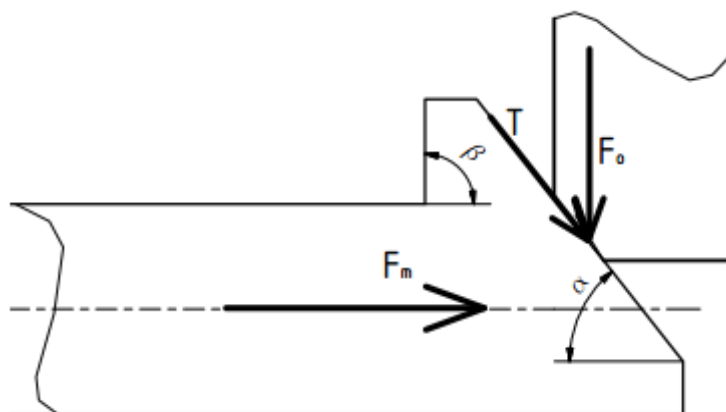
3.2. Namáhání klipů při montáži

Při montáži jsou klipy namáhány především ohybem, který je způsoben vychýlením zobáčku klipu při zasouvání do protikusu. Na Obr.3.6 vidíme průběh napětí v patě klipu.



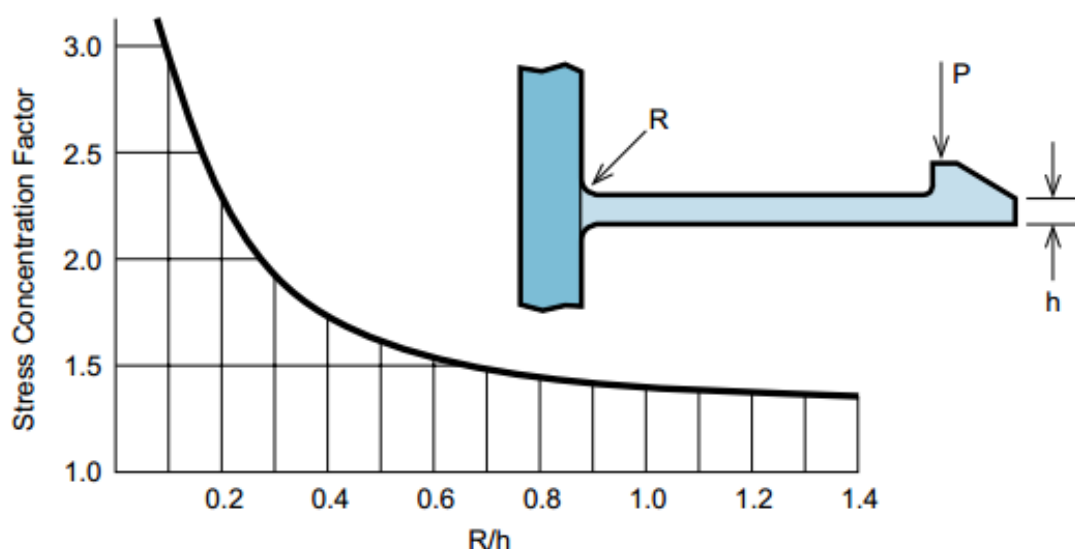
Obr. 3.6 Průběh napětí v klipu při montáži [3]

Velikosti sil působících na klip při montáži jsou dány silou F_m a úhlem α , od kterého se následně odvíjejí velikosti sil F_o a T viz. Obr 3.7. Úhel β , je úhel dosedací plochy, jeho velikost se určuje podle možnosti rozebrání spoje bez poškození. Pro výpočet namáhání při spojování součástí se nepoužívá ohýbající síla F_o , ale posunutí vycházející z osazení zobáčku. Důvodem je neznalost montážní síly F_m , která je vyvíjena pracovníkem.



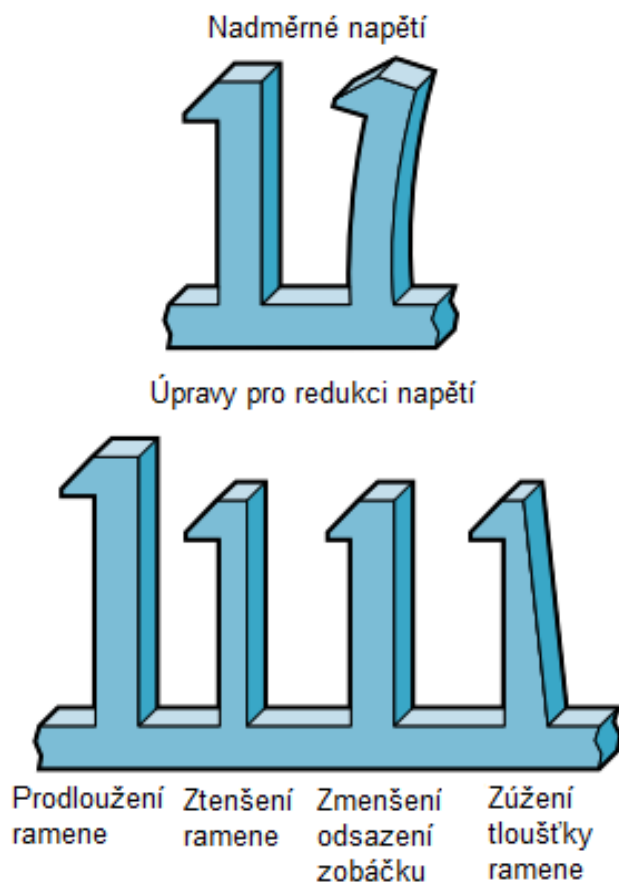
Obr. 3.7 Síly působící při montáži F_m – montážní síla, T – třecí síla, F_o – ohýbající síla

Nejkritičtější místo klipu je v patě klipu, kde vzniká největší moment a tedy i ohybové napětí. Koncentraci napětí zamezujeme zaoblením přechodu mezi klipem a podstavou čím zmenšíme vrubový účinek. Tyto účinky můžeme pozorovat na Obr.3.8. Podle výrobce materiálu poloměr zaoblení mezi 0,381-0,762 mm poskytne dobrý kompromis mezi únavou materiálu a dobrou tvarovatelností součástí.



Obr. 3.8 Graf koncentrace napětí a poměru zaoblení paty k tloušťce klipu [3]

Některé aplikace mohou vyžadovat změny ramene klipu, aby se zabránilo nadměrnému napětí materiálu při vychýlení. Doporučené změny vidíme na následujícím obrázku.



Obr. 3.9 Doporučené úpravy geometrie klipu

4. Selekce klipů používaných firmou Varroc Lighting systems

Nejpoužívanější typ klipů ve světelné technice jsou konzolové klipy různorodého provedení. Klip je tvořen tělem různého průřezu zakončeným zobáčkem, který po montáži (zaskočení za šoupátko) zabezpečuje soudržnost spoje tvarovým stykem. Klipy přenášející větší síly jsou tvořeny plochým základem s otvorem, do kterého při montáži zapadne šoupátko protikusu. Deformovatelná je zde plošná část. V současné době se klipy ve firmě konstruuji na základě zkušeností konstruktérů a následně jsou podrobovány vibračním testům pro kontrolu pevnosti.

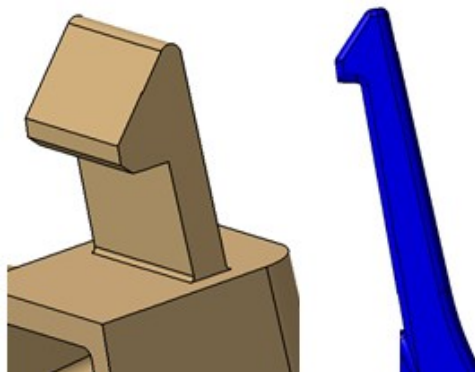
Typy projektů vyčleněných pro selekci uchycovacích elementů (klipů) od firmy Varroc lighting systems:

- A515 HDLP,
- Jaguar X250RL,
- L359MY13 HDLP,
- L359MY13 RL,
- SK215 LR,
- VW Polo.

Ve všech šesti projektech bylo spolu 33 klipů, které byly zkontrolovány MKP výpočtem a výsledky následně zkontrolovány s firmou Varroc. Pro realizaci standardizovaných parametrických klipů byly na základě výpočtů a praktické realizovatelnosti vybrány tři typy klipů, jako předloha pro tvorbu parametrických modelů v programu CATIA V5r18

Jednoduchý klip

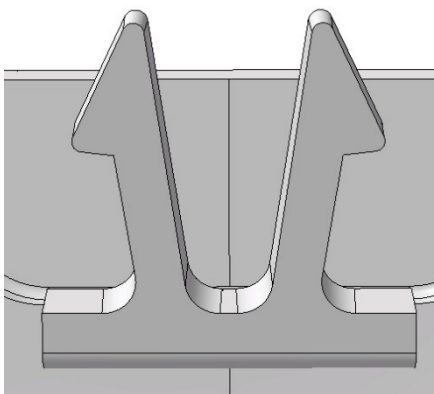
Nejpoužívanější klip s jednoduchou realizovatelností parametrického modelu. Klip má tvar čísla 1.



Obr. 4.1 Příklad jednoduchého klipu širokého, úzkého [6]

Dvojitý klip

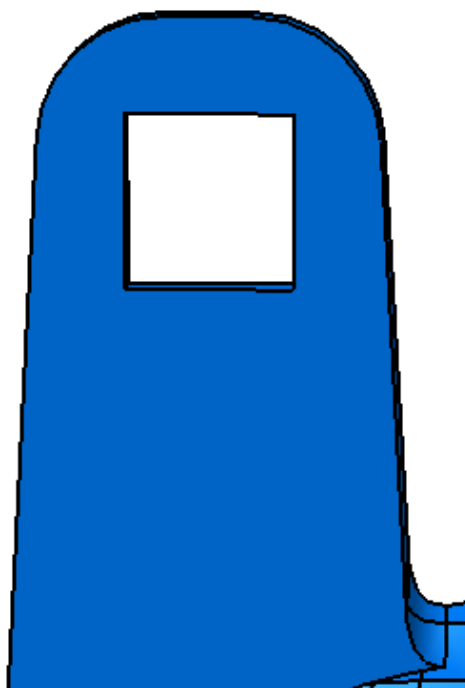
Druhý nejpoužívanější typ klipu tvoří dva jednoduché klipy otočené zobáčky od sebe nakloněné v daném úhlu, čím je omezeno namáhání celé součásti vzhledem k protisměrně působícím zatěžujícím silám.



Obr. 4.2 Příklad dvojitého klipu [6]

Plochý klip

Je tvořen širokým plochým nosníkem, který má otvor pro zaskočení šoupátka. Klip se vyznačuje velkou pevností a odolností. Jednoduchá montáž i demontáž klipu je způsobená dostatečnou plochou pro působení uvolňovací síly na konci klipu.



Obr. 4.3 Příklad plochého klipu [6]

5. Materiály používané ve světelné technice firmou Varroc Lighting systems

Pro svoji vysokou úroveň flexibility jsou plasty pro tenhle způsob spojování nejvhodnější materiál. Používané jsou typu plastů ABS, PC, ABS+PC a PMMA.

5.1. Kopolymer akrylonitril-butadién-styrén, ABS

Kopolymer ABS je kaučukem modifikovaný styren-akrylonitril (SAN). Vyrábí se více druhů lišících se teplotní odolností a tuhostí. Výsledky je dosaženo různým poměrem kopolymerujících složek. Má lesklý povrch, je tuhý, pevný a přitom houževnatý i za snížené teploty. Dobře tlumí rázy a vibrace. Teplotní odolnost a tvarová stálost za tepla je lepší než u PS a SAN. Snáší střídání teplot. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou horší, je mírně navlhavý a má malý elektrostatický náboj. Odolnost proti povětrnosti a světelnému stárnutí je omezená. Světelné stárnutí se odstraňuje pomocí světelných stabilizátorů a absorbérů UV-záření, dále větším množstvím černého pigmentu pro stálost proti foto-oxidačním činidlům. Je zdravotně nezávadný, speciální typy lze galvanicky pokovovat. Odolává kyselinám, zásadám, olejům, tukům, některým uhlovodíkům, neodolává však chlorovaným a aromatickým uhlovodíkům, esterům a ketonům. Dobře se zpracovává všemi technologiemi (vstřikování, vyfukování, lisování, válcování, tvarování za tepla).

Materiál nachází využití v různých odvětvích: kryty domácích elektrospotřebičů, tělesa a sluchátka telefonních přístrojů, kalkulaček, mikrofonů a budíků, podstavce svítidel, tělesa kuchyňských vah, hračky, modely aut, zbraní, ochranné sportovní přilby, rukojeti náradí, kryty sekaček na trávu, dětské sedačky, mřížky chladičů a topení automobilů, ozdobné mřížky, tělesa reflektorů, koupelnové armatury určené pro galvanické chromování, kryty vysavačů a vysoušečů vlasů.

Konkrétní materiály použité pro analýzu klipů jsou: Terluran HH-112 a Lustran ABS H802. V následujících tabulkách jsou uvedeny jejich materiálové vlastnosti.

Tab. 5.1 Terluran HH-112

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|----------------------------|-----------|-----------------------|----------|
| Hustota | 1050 | kg·m ⁻³ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2700 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 58 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 81 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (220°C, 10kg) | 6.0 | g·10min ⁻¹ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,4 - 0,7 | % | |

Tab. 5.2 Lustran ABS H802

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|----------------------------|-----------|-----------------------|----------|
| Hustota | 1050 | kg·m ⁻³ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2700 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 51 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 80 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (220°C, 10kg) | 8.0 | g·10min ⁻¹ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,4 - 0,7 | % | |

5.2. Polykarbonát, PC

Polykarbonát představuje kombinaci pevnosti, tuhosti, optické transparentnosti a propustnosti světla až 88% podle DIN 5036, T3. PC má také vynikající elektroizolační vlastnosti. Lze ho vyrábět v různých barvách od transparentních odstínů až po neprůhledné syté barvy. Polykarbonát má vynikající UV stabilitu. Lze ji dále zvyšovat s pomocí přísady UV stabilizátorů. Možnými přísadami jsou tepelné stabilizátory, nebo aditiva pro zlepšení ESCR (koroze pod napětím). PC lze plnit skleněnými vlákny, což umožňuje další zvyšování pevnosti materiálu. Má výborný rozsah teplot krátkodobého i dlouhodobého použití, vysokou odolnost vůči rázům, úderům a lomu vyvolaného ohybem. PC je stálý proti oxidaci do 120°C. Odolává roztokům uhličitanu sodného a mýdel, zředěných kyselin, alkoholům a alifatickým uhlovodíkům. Špatná je odolnost vůči dlouhodobému působení vroucí vody a páry, amoniaku a aminům.

Polykarbonát se využívá v automobilovém průmyslu na výrobu světel a bezpečnostních oken, na výrobu desek a profilů širokého použití, měřidla, zajišťovací a bezpečnostní prvky, mísy různých kuchyňských spotřebičů, dvířka mikrovlnných trub, ochranné brýle, různé osvětlovací tělesa, kompaktní disky CD a DVD.

Konkrétní materiály použité pro analýzu klipů jsou: Makrolon 1260, Makrolon AL2447, Makrolon AL2647 a Lexan LS1. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách

Tab. 5.3 Makrolon 1260

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Hustota | 1200 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2350 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 63 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 55 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (300°C, 1,2kg) | 35 | $\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,5 - 0,7 | % | |

Tab. 5.4 Makrolon AL2447

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Hustota | 1200 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2400 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 66 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 70 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (300°C, 1,2kg) | 19 | $\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,5 - 0,7 | % | |

Tab. 5.5 Makrolon AL2647

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Hustota | 1200 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2400 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 63 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 72 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (300°C, 1,2kg) | 11 | $\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,6 - 0,8 | % | |

Tab. 5.6 Lexan LS1

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Hustota | 1200 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2350 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 63 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 70 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (300°C, 1,2kg) | 21 | $\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,5 – 0,7 | % | |

5.3.Směs PC a ABS

Směs PC a ABS poskytuje unikátní kombinaci velmi dobré zpracovatelnosti ABS a vynikajících mechanických vlastností a odolnosti proti nárazu a teple PC. Poměr PC a ABS ovlivňuje hlavně tepelnou odolnost výsledné směsi. Hlavními vlastnostmi směsi jsou vysoká odolnost proti nárazům při nízkých teplotách, vysoká tuhost a tepelná odolnost, nízké celkové smrštění a vysoká rozměrová přesnost.

Nejčastějšími aplikacemi PC+ABS jsou v automobilovém průmyslu: nosné konzole, skříňky, spodní přístrojové panely, kolenní polštáře pro ochranu před nárazy, konstrukční díly a v elektronice: rámy televizorů, přenosná ruční zařízení, klávesnice.

Konkrétní materiály použité pro analýzu klipů jsou: Cycloy C1100HF a Bayblend T80 XG. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách

Tab. 5.7 Cycloy C1100HF

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|---------------------------|-----------|------------------------------------|----------|
| Hustota | 1120 | $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2400 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 55 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 45 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (260°C, 5kg) | 20 | $\text{g} \cdot 10\text{min}^{-1}$ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,5 - 0,7 | % | |

Tab. 5.8 Bayblend T80 XG

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|---------------------------|---------|-----------------------|----------|
| Hustota | 1140 | kg·m ⁻³ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 2500 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 62 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 50 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (260°C, 5kg) | 27 | g·10min ⁻¹ | ISO 1133 |

5.4. Polymetylmetakrylát, PMMA

Polymetylmetakrylát je amorfní termoplast. Jeho nejtypičtější vlastnost je dokonalá čírost, je tuhý, velmi pevný s nízkou tažností a odolný vůči UV-záření. Lze jej použít jako náhradu PC v aplikacích vyžadujících vyšší průhlednost a odolnost proti UV-záření nebo proti poškrábání bez nutnosti odolnosti proti nárazům. Materiál se používá v celé řadě aplikací v automobilovém průmyslu, v průmyslu osvětlovacích těles, ve stavebním a kosmetickém průmyslu a ve zdravotnictví.

Konkrétní materiály použité pro analýzu klipů jsou: Altuglas v 825 T. Materiálové vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách

Tab. 5.9 Altuglas v 825 T

| | Hodnota | Jednotky | Norma |
|-----------------------------|-----------|-----------------------|----------|
| Hustota | 1190 | kg·m ⁻³ | ISO 1183 |
| Modul pružnosti v tahu | 3300 | MPa | ISO 527 |
| Mez kluzu | 70 | MPa | ISO 527 |
| Mez pevnosti | 103 | MPa | ISO 527 |
| Tok Taveniny (230°C, 3,8kg) | 2,8 | g·10min ⁻¹ | ISO 1133 |
| Smrštění | 0,2 - 0,6 | % | |

6. Pevnostní analýza klipů

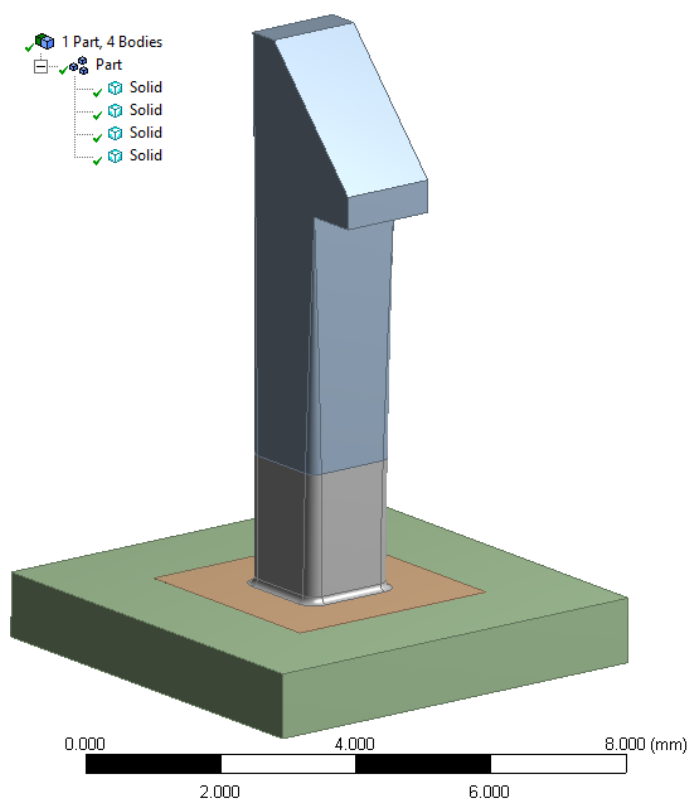
Podle předloh modelů firmy Varroc jsou klipy vytvořené v zjednodušené podobě pro výpočet metodou konečných prvků i analytickou metodou.

6.1. MKP analýza

Výpočet i zjednodušené modely klipů pro MKP jsou vytvořeny v programu Ansys workbench 15 podle rozměrů již používaných elementů. Výpočet je prováděn statickou analýzou.

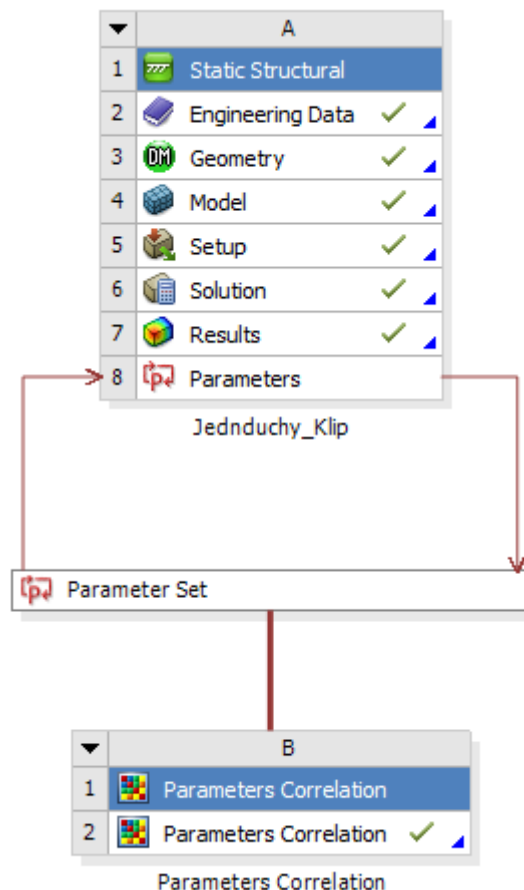
6.1.1. Tvorba modelů

Každý typ klipu je postaven na obdélníkové podstavě. Pomocí funkce Slice material je rozříznut 2,5mm nad podstavou a podstava rozříznuta po obvodu celého klipu v odsazení 1mm a následně všechny vzniklé tělesa spojena do jednoho partu. Popsaná operace byla provedena z důvodu možnosti objemového zjemnění sítě v oblasti paty klipu, kde je předpokládán největší napětí. V kritické místě je provedeno zaoblení pro zabránění vzniku ostrého vrubu, čímž se předešlo vzniku nekonečného napětí, při výpočtu podle definice MKP. Ze stejného důvodu je provedeno proměnlivé zaoblení po celé výšce klipu od vrcholu klipu po podstavu (0 – 0,2) mm. Následně byla síť zjemněná i plošně na zaoblení v patě.



Obr. 6.1 Model jednoduchého klipu

Analýza je prováděná výpočtovým nástrojem Static Structural. Rozměry náčrtu byly převedeny do podoby parametrů, čímž vznikla položka Parameter Set. Následně byl přidán výpočtový nástroj Parameters Correlation, kde byl zadán interval výšky klipu (5;20) a hodnota rozdělovací interval na 20 kroků. Rozměry průřezu klipu zůstali fixní a byly pozměněny v následujících výpočtech pro získání hodnot napětí o různých velikostech průřezu klipů. Tuhle operací jsme získali možnost výpočtu napětí ve všech krocích intervalu, bez potřeby úprav geometrie klipu.

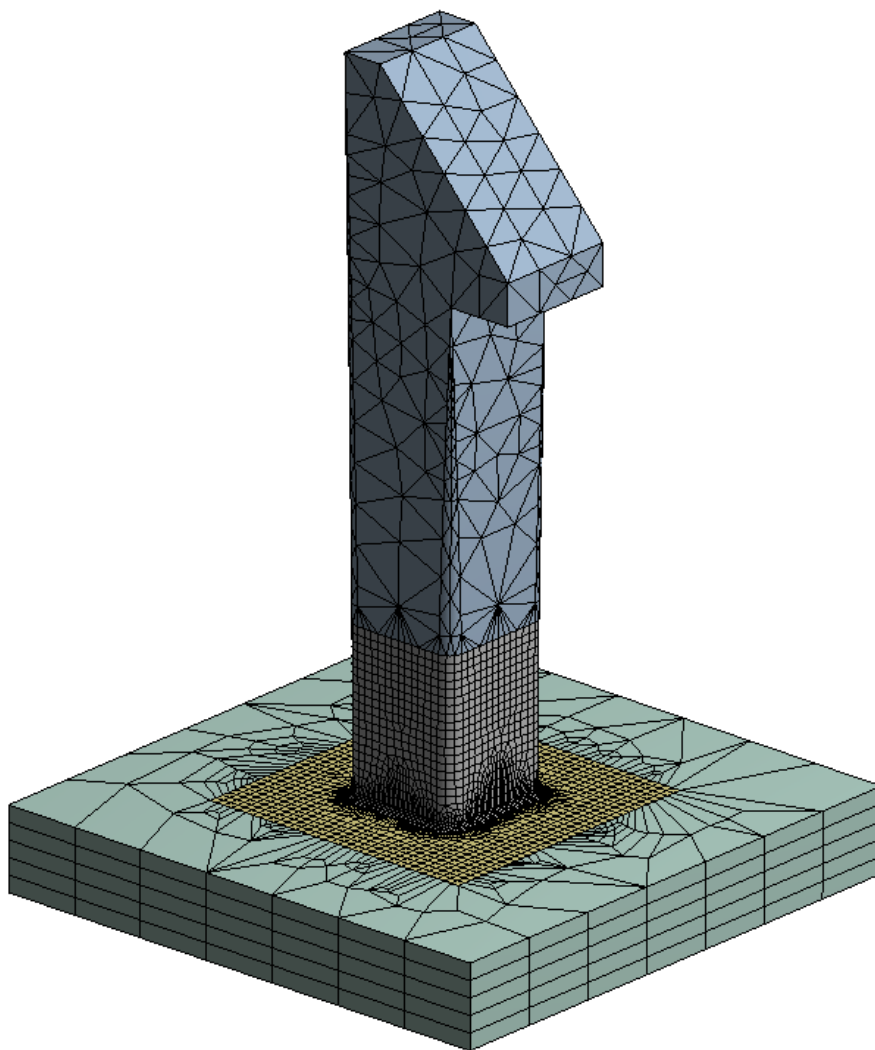


Obr. 6.2 Zadání výpočtu v programu Ansys workbench 15

6.1.2. Tvorba sítě

Síť byla tvořena tzv. Solid elementy – nepoužívanější jsou tetraedry (čtyřstěny) a hexaedry (šestistěny) a další (podle konkrétního FEM systému). Mohou být použity lineární, nebo parabolické prvky. Jednotlivé uzly modelu jsou tvořeny v objemu 3D geometrie. (v některých případech je nejprve tvořena 2D síť na povrchu modelu, následně do objemu). Tento model je vhodný pro obecné 3D modely, kde je nutné zjistit chování uvnitř modelu. 3D model není nutné měnit. Je však nutné, aby byla geometrie uzavřená – sešitá s dostatečnou tolerancí.

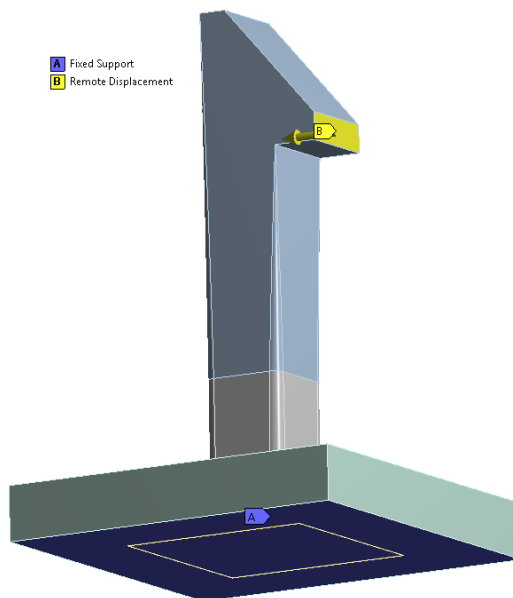
Síť pro výpočet klipů byla tvořena hexaedry v místech, kde bylo předpokládáno největší napětí. Program Ansys workbench vytváří síť z povrchu dovnitř, z důvodu předpokladu největšího napětí na povrchu součásti. Síť zbývajících částí modelů byla vytvořena automaticky a její velikost zvětšena pro menší výsledný počet bodů sítě čím se urychlil výpočet.



Obr. 6.3 Síť jednoduchého klipu

6.1.3. Okrajové podmínky

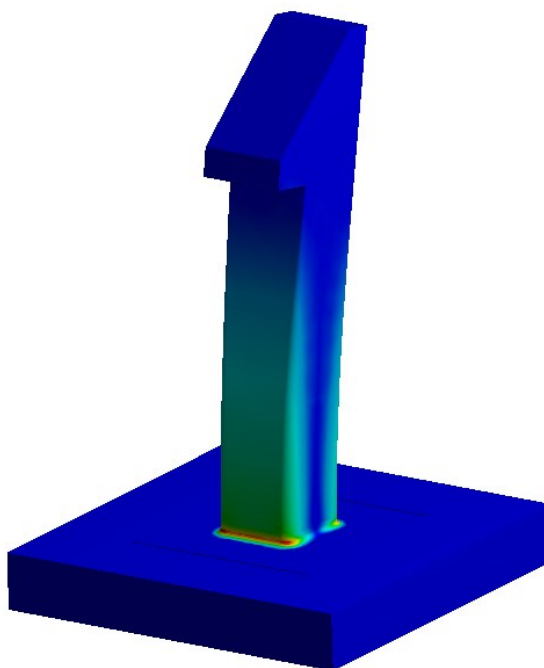
Okrajové podmínky tvoří fixní vazba Fixed support na spodní straně podstavy a zatížení pomocí posunutí o velikosti rozměru Z funkcí Remote displacement. Materiál výpočtu byl zvolen ABS Terluran HH-112 s hodnotou meze kluzu 58 MPa.



Obr. 6.4 Okrajové podmínky jednoduchý klip

6.1.4. Výsledky MKP

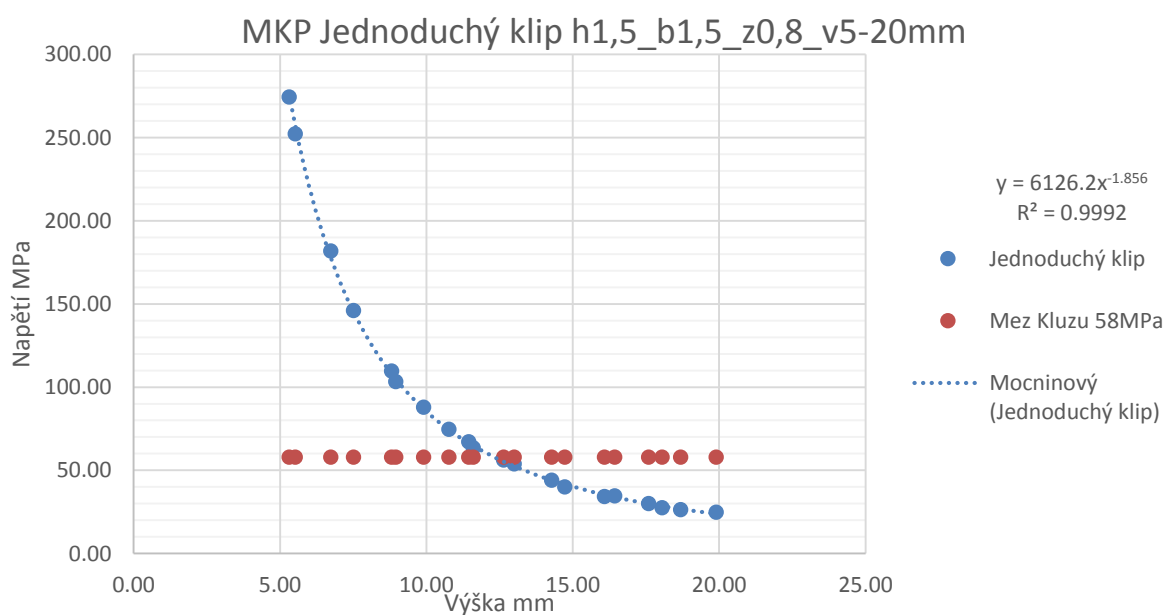
Vyhodnocované bylo ekvivalentní napětí. Jak je zřejmé z následujícího obrázku, nejkritičtější místo klipu je jeho pata, kde napětí dosahuje nejvyšších hodnot.



Obr. 6.5 Průběh ekvivalentního napětí v jednoduchém klipu

Tab. 6.1 Výsledky MKP jednoduchého klipu h1,5_b1,5_z0,8_v5-20mm

| L mm | Ekvivalentní napětí MPa |
|-------|-------------------------|
| 5.31 | 274.38 |
| 5.52 | 252.34 |
| 6.73 | 181.81 |
| 7.50 | 146.15 |
| 8.95 | 103.35 |
| 9.90 | 88.03 |
| 10.77 | 74.64 |
| 11.45 | 67.13 |
| 11.60 | 63.57 |
| 12.64 | 56.18 |
| 13.00 | 53.85 |
| 14.28 | 44.10 |
| 14.73 | 40.07 |
| 16.08 | 34.34 |
| 16.43 | 34.60 |
| 17.59 | 30.13 |
| 18.05 | 27.51 |
| 18.68 | 26.40 |
| 19.90 | 24.82 |



Obr. 6.6 MKP graf závislosti napětí a výšky jednoduchého klipu

V grafu vidíme závislost napětí na výšce klipu při stejném průřezu a posunutí. Všechny hodnoty nad mezí kluzu nejsou reálné napětí. Jsou to hodnoty informující o překročení meze kluzu a tedy vzniku plastické deformace. Výsledky nabývají tyto hodnoty z důvodu zadání materiálových vlastností v podobě lineárního materiálu. Materiálové zadání není omezující, protože výsledky jsou porovnané s hodnotami analytického výpočtu a ten počítá s lineárním materiálem.

6.2. Analytické pevnostní výpočty

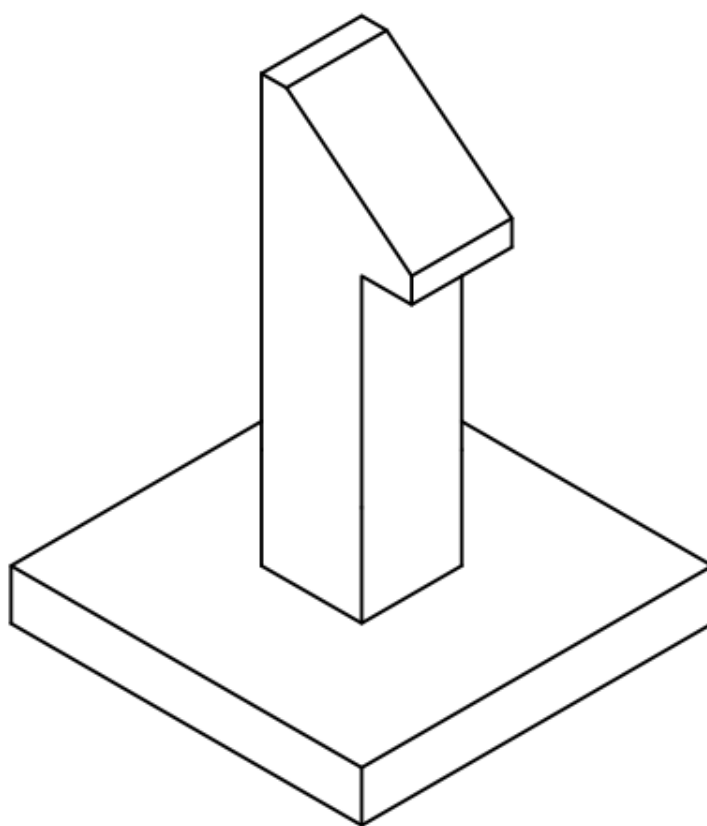
Budou provedeny analytické pevnostní výpočty vytypovaných klipů, pro následné porovnání s výpočty MKP. K pevnostnímu posouzení víceosé statické napjatosti se běžně používají hypotézy pojmenované podle jejich autorů. K často používaným patří pevnostní hypotézy podle Tresca a podle Hubera, Miesese a Henckeho (HMH). Lze je zapsat v zobecněném tvaru. [5]

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + k_c^2 \cdot \tau^2} \quad (6.1)$$

Kde σ_{red} je redukované napětí, které se porovnává s dovoleným napětím σ_D , a kde součinitel k_c^2 nabývá hodnoty 3 u hypotézy HMH a 4 u Tresca. [5] V analytickém výpočtu budeme vyhodnocovat redukované napětí podle hypotézy HMH.

6.2.1. Jednoduchý klip

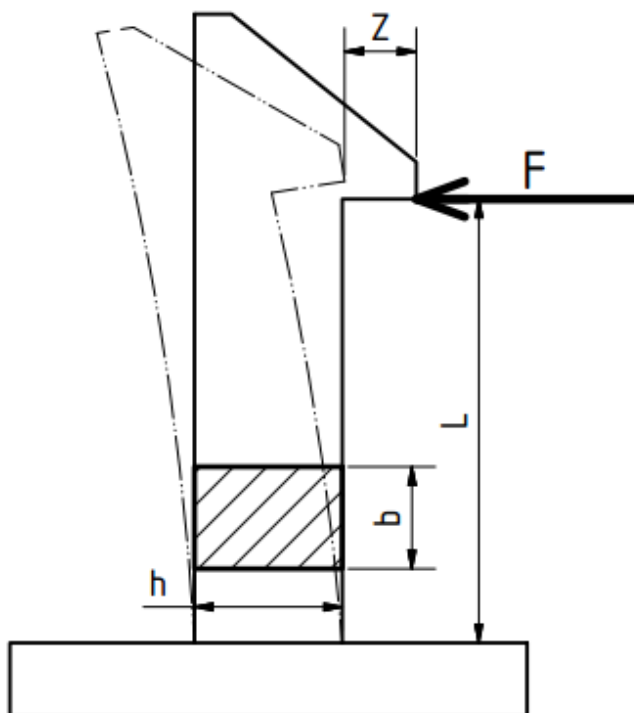
Klip v podobě nosníku kolmě vystupujícího z podstavy.



Obr. 6.7 Jednoduchý klip

6.2.2. Pevnostní výpočet jednoduchého klipu

Pro zjednodušení výpočtu klipu byl klip nahrazen nosníkem o stejném průřezu, jako testovaný klip. Zatížení je provedeno ohybem o velikosti osazení háku klipu Z .



Obr. 6.8 Schéma jednoduchého klipu

Zatěžující síla z posunutí

$$Z = \frac{F \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \Rightarrow F = \frac{Z \cdot 3 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad (6.2)$$

Kvadratický moment

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (6.3)$$

Ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot L}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \quad (6.4)$$

Smykové napětí zjednodušenou Žuravského větou

$$\tau = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot S} = \frac{3 \cdot F}{2 \cdot b \cdot h} \quad (6.5)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (6.6)$$

Hodnoty napětí pro různé délky klipu jsou uvedeny v následující tabulce.

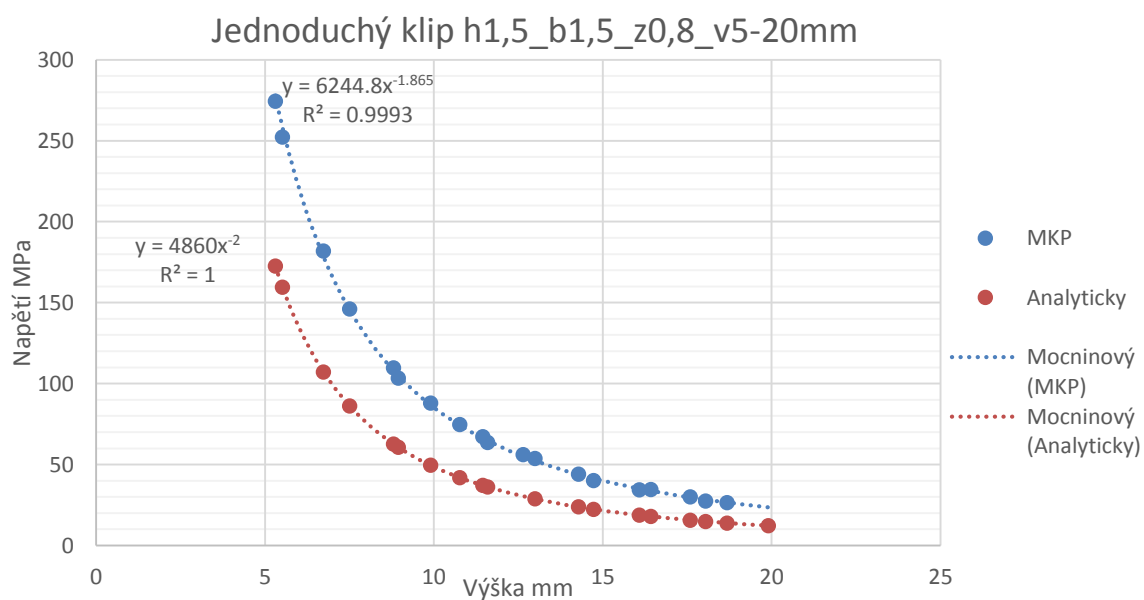
Tab. 6.2 Výsledky analytického výpočtu jednoduchého klipu h1,5_b1,5_z0,8_v5-20mm

| L mm | Fy N | Mo Nmm | σ_o MPa | τ MPa | σ_{HMH} MPa |
|-------|-------|--------|----------------|------------|--------------------|
| 5.31 | 18.29 | 97.07 | 172.56 | 0.01 | 172.56 |
| 5.52 | 16.27 | 89.77 | 159.60 | 0.01 | 159.60 |
| 6.73 | 8.96 | 60.33 | 107.25 | 0.01 | 107.25 |
| 7.51 | 6.47 | 48.54 | 86.29 | 0.00 | 86.29 |
| 8.81 | 4.00 | 35.24 | 62.64 | 0.00 | 62.64 |
| 8.95 | 3.81 | 34.14 | 60.68 | 0.00 | 60.68 |
| 9.90 | 2.82 | 27.89 | 49.58 | 0.00 | 49.58 |
| 10.77 | 2.19 | 23.57 | 41.90 | 0.00 | 41.90 |
| 11.45 | 1.82 | 20.85 | 37.07 | 0.00 | 37.07 |
| 11.60 | 1.75 | 20.33 | 36.15 | 0.00 | 36.15 |
| 12.64 | 1.35 | 17.12 | 30.43 | 0.00 | 30.43 |
| 13.00 | 1.25 | 16.19 | 28.78 | 0.00 | 28.78 |
| 14.28 | 0.94 | 13.41 | 23.84 | 0.00 | 23.84 |
| 14.73 | 0.86 | 12.60 | 22.41 | 0.00 | 22.41 |
| 16.08 | 0.66 | 10.57 | 18.79 | 0.00 | 18.79 |
| 16.43 | 0.62 | 10.13 | 18.01 | 0.00 | 18.01 |
| 17.60 | 0.50 | 8.83 | 15.70 | 0.00 | 15.70 |
| 18.05 | 0.47 | 8.39 | 14.92 | 0.00 | 14.92 |
| 18.68 | 0.42 | 7.83 | 13.93 | 0.00 | 13.93 |
| 19.90 | 0.35 | 6.90 | 12.27 | 0.00 | 12.27 |

Porovnání výsledků MKP a Analytického výpočtu.

Tab. 6.3 Porovnání hodnot výpočtů napětí

| L mm | σ_{HMH} MPa | Ekvivalentní napětí MPa | Rozdíl |
|-------|--------------------|-------------------------|--------|
| 5.31 | 172.56 | 274.38 | 101.82 |
| 5.52 | 159.60 | 252.34 | 92.74 |
| 6.73 | 107.25 | 181.81 | 74.56 |
| 7.51 | 86.29 | 146.15 | 59.86 |
| 8.81 | 62.64 | 109.65 | 47.01 |
| 8.95 | 60.68 | 103.35 | 42.67 |
| 9.90 | 49.58 | 88.03 | 38.45 |
| 10.77 | 41.90 | 74.64 | 32.74 |
| 11.45 | 37.07 | 67.13 | 30.06 |
| 11.60 | 36.15 | 63.57 | 27.42 |
| 12.64 | 30.43 | 56.18 | 25.75 |
| 13.00 | 28.78 | 53.85 | 25.07 |
| 14.28 | 23.84 | 44.10 | 20.26 |
| 14.73 | 22.41 | 40.07 | 17.66 |
| 16.08 | 18.79 | 34.34 | 15.55 |
| 16.43 | 18.01 | 34.60 | 16.59 |
| 17.60 | 15.70 | 30.13 | 14.43 |
| 18.05 | 14.92 | 27.51 | 12.59 |
| 18.68 | 13.93 | 26.40 | 12.47 |
| 19.90 | 12.27 | 24.82 | 12.55 |

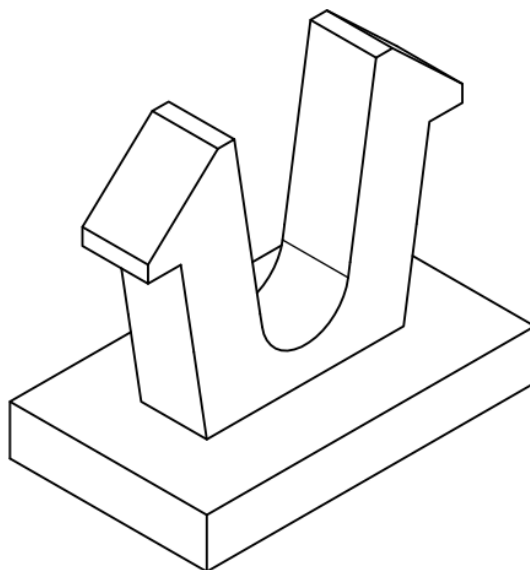


Obr. 6.9 Graf porovnání výsledků Analytického a MKP výpočtu jednoduchého klip

Grafy srovnání dalších vypočtených průřezů jsou zobrazeny v Příloze 1.

6.2.3. Dvojitý klip

Dvojitý klip je tvořen dvěma jednoduchými klipy umístěnými háky od sebe pod úhlem α , na hřbetové části spojené zaoblením. Celý klip vystupuje kolmo z podstavy.

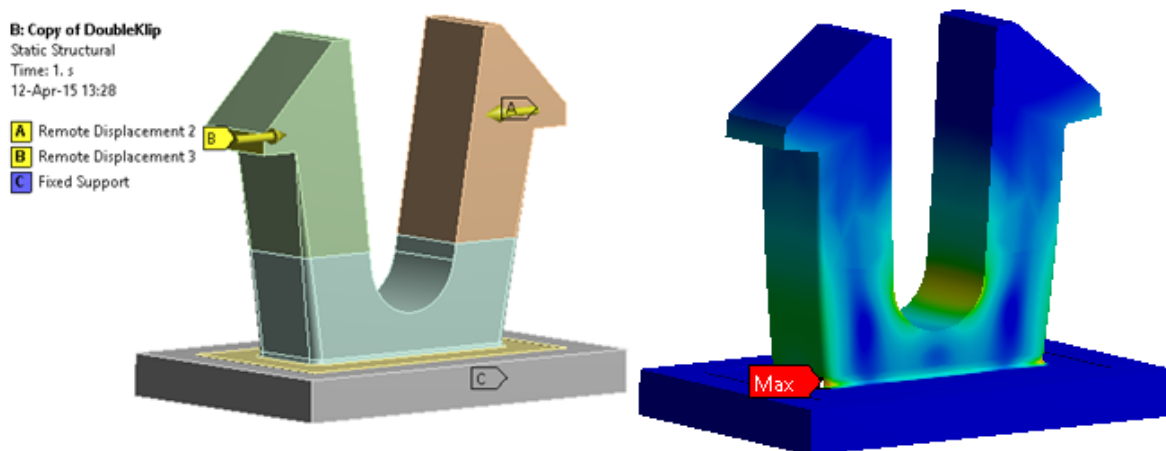


Obr. 6.10 Dvojitý klip

6.2.4. Pevnostní výpočet dvojitého symetrického klipu

MKP výpočet

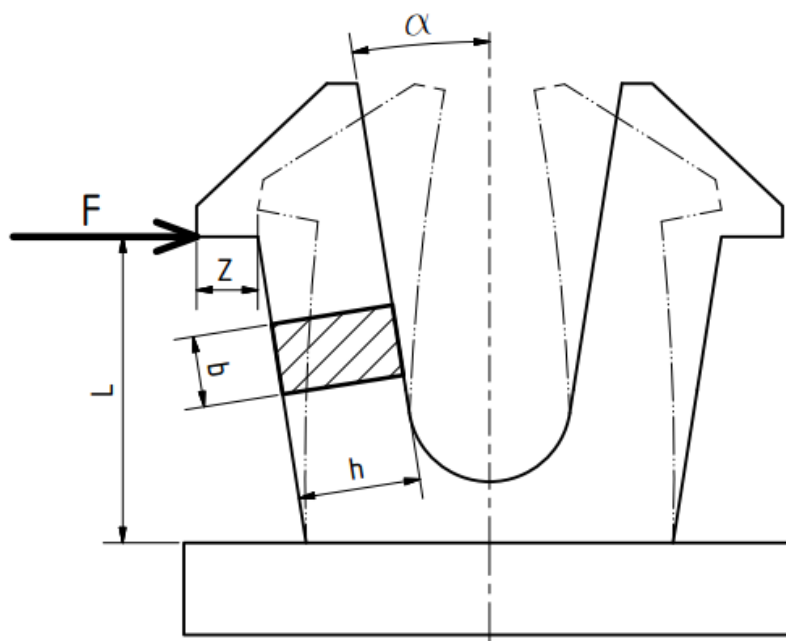
Model je geometricky upraven totožně, jako jednoduchý klip, technologickými zaobleními pro odstranění koncentrací napětí a rozříznutím modelu pro objemovou úpravu velikosti elementů sítě. Maximum napětí se nachází v patě klipu v přechodu mezi podstavou a klipem. Zatížení je tvořeno identicky k jednoduchému klipu, posunutím o velikost rozměru Z .



Obr. 6.11 Dvojitý klip okrajové podmínky, průběh napětí v klipu

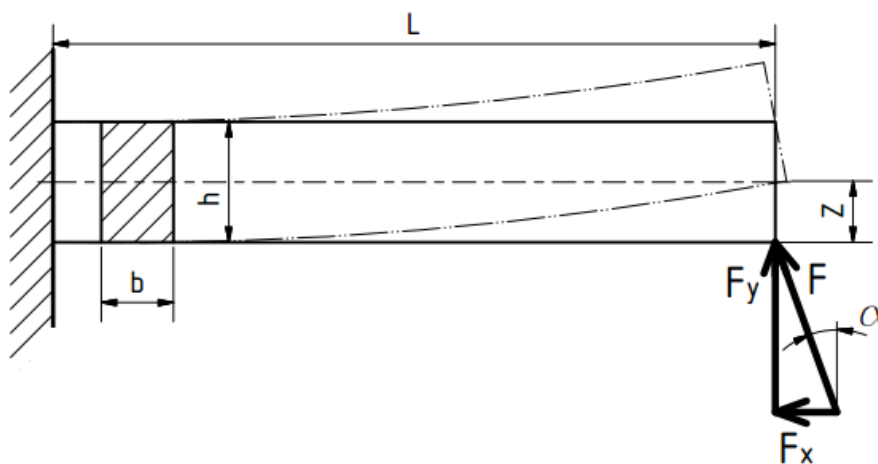
Analytický výpočet

Z důvodu symetrického tvaru klipu byl výpočet zjednodušen na nosník, zatížen posunutím klipu pod úhlem α .



Obr. 6.12 Schéma dvojitého klipu

Zjednodušení geometrie klipu pro výpočet



Obr. 6.13 Schéma výpočtu pro dvojitý klip

Průhyb

$$Z = \frac{F_y \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \Rightarrow F_y = \frac{Z \cdot 3 \cdot E \cdot I}{L^3} \quad (6.7)$$

Kvadratický moment

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (6.8)$$

Ohybové napětí

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} = \frac{F \cdot L}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \quad (6.9)$$

Tlačná složka síly

$$F_x = F_y \cdot \tan \alpha \quad (6.10)$$

Tlakové napětí

$$\sigma_T = \frac{F_x}{S} = \frac{F_x}{b \cdot h} \quad (6.11)$$

Smykové napětí zjednodušenou Žuravského větou

$$\tau = \frac{3 \cdot F_y}{2 \cdot S} = \frac{3 \cdot F_y}{2 \cdot b \cdot h} \quad (6.12)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{HMH} = \sqrt{\sigma_O^2 + \sigma_T^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (6.13)$$

Hodnoty napětí pro různé délky klipu jsou uvedeny v následující tabulce.

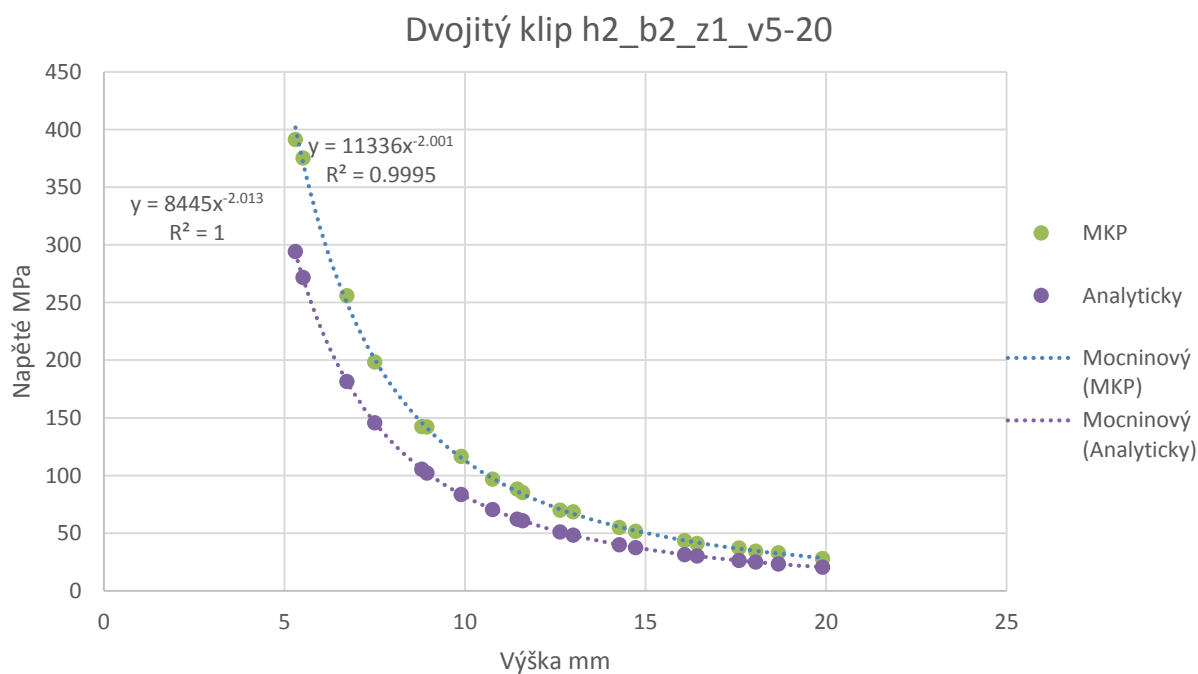
Tab. 6.4 Výsledky analytického výpočtu dvojitého klipu h2_b2_z1_v5-20mm

| L mm | Fy N | Fx N | Mo Nmm | σ_O MPa | σ_T MPa | σ MPa | τ MPa | σ_{HMH} MPa |
|-------|-------|-------|--------|----------------|----------------|--------------|------------|--------------------|
| 5.31 | 72.26 | 11.44 | 383.47 | 287.60 | 2.86 | 290.46 | 27.10 | 294.23 |
| 5.52 | 64.27 | 10.18 | 354.66 | 265.99 | 2.55 | 268.54 | 24.10 | 271.76 |
| 6.73 | 35.41 | 5.61 | 238.33 | 178.75 | 1.40 | 180.15 | 13.28 | 181.61 |
| 7.51 | 25.55 | 4.05 | 191.76 | 143.82 | 1.01 | 144.84 | 9.58 | 145.78 |
| 8.81 | 15.80 | 2.50 | 139.20 | 104.40 | 0.63 | 105.03 | 5.93 | 105.53 |
| 8.95 | 15.07 | 2.39 | 134.85 | 101.14 | 0.60 | 101.74 | 5.65 | 102.21 |
| 9.90 | 11.13 | 1.76 | 110.19 | 82.64 | 0.44 | 83.08 | 4.17 | 83.40 |
| 10.77 | 8.65 | 1.37 | 93.12 | 69.84 | 0.34 | 70.18 | 3.24 | 70.41 |
| 11.45 | 7.20 | 1.14 | 82.39 | 61.79 | 0.29 | 62.07 | 2.70 | 62.25 |
| 11.60 | 6.93 | 1.10 | 80.33 | 60.25 | 0.27 | 60.52 | 2.60 | 60.69 |
| 12.64 | 5.35 | 0.85 | 67.61 | 50.71 | 0.21 | 50.92 | 2.01 | 51.04 |
| 13.00 | 4.92 | 0.78 | 63.95 | 47.96 | 0.20 | 48.16 | 1.85 | 48.26 |
| 14.28 | 3.71 | 0.59 | 52.97 | 39.73 | 0.15 | 39.87 | 1.39 | 39.95 |
| 14.73 | 3.38 | 0.54 | 49.79 | 37.34 | 0.13 | 37.48 | 1.27 | 37.54 |
| 16.08 | 2.60 | 0.41 | 41.76 | 31.32 | 0.10 | 31.42 | 0.97 | 31.47 |
| 16.43 | 2.44 | 0.39 | 40.01 | 30.01 | 0.10 | 30.11 | 0.91 | 30.15 |
| 17.60 | 1.98 | 0.31 | 34.89 | 26.17 | 0.08 | 26.24 | 0.74 | 26.28 |
| 18.05 | 1.84 | 0.29 | 33.16 | 24.87 | 0.07 | 24.94 | 0.69 | 24.97 |
| 18.68 | 1.66 | 0.26 | 30.95 | 23.21 | 0.07 | 23.28 | 0.62 | 23.30 |
| 19.90 | 1.37 | 0.22 | 27.26 | 20.45 | 0.05 | 20.50 | 0.51 | 20.52 |

Tab. 6.5 Výsledky MKP dvojitého klipu h2_b2_z1_v5-20mm

| L mm | Ekvivalentní napětí MPa |
|-------|-------------------------|
| 5.31 | 391.42 |
| 5.52 | 375.32 |
| 6.73 | 255.82 |
| 7.51 | 198.42 |
| 8.81 | 142.26 |
| 8.95 | 142.08 |
| 9.90 | 116.58 |
| 10.77 | 96.79 |
| 11.45 | 88.30 |
| 11.60 | 85.10 |
| 12.64 | 69.89 |
| 13.00 | 68.57 |
| 14.28 | 55.03 |
| 14.73 | 51.47 |
| 16.08 | 43.57 |
| 16.43 | 41.10 |
| 17.60 | 37.12 |
| 18.05 | 34.30 |
| 18.68 | 33.07 |
| 19.90 | 27.96 |

Porovnání výsledků MKP a Analytického výpočtu.

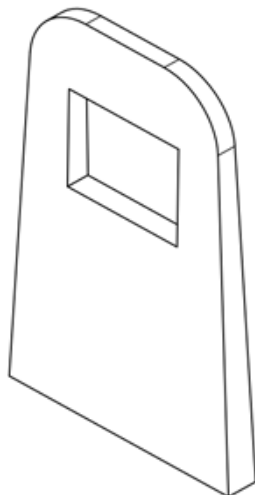


Obr. 6.14 Graf porovnání výsledků Analytického a MKP výpočtu dvojitého klipu

Grafy srovnání dalších průřezů jsou zobrazeny v Příloze 2.

6.2.5. Plochý klip

Plochý klip je nosník, jehož šířka je několika násobně větší než jeho hloubka. Proti jednoduchému klipu má místo zobáčku otvor pro zaskočení šoupátka.

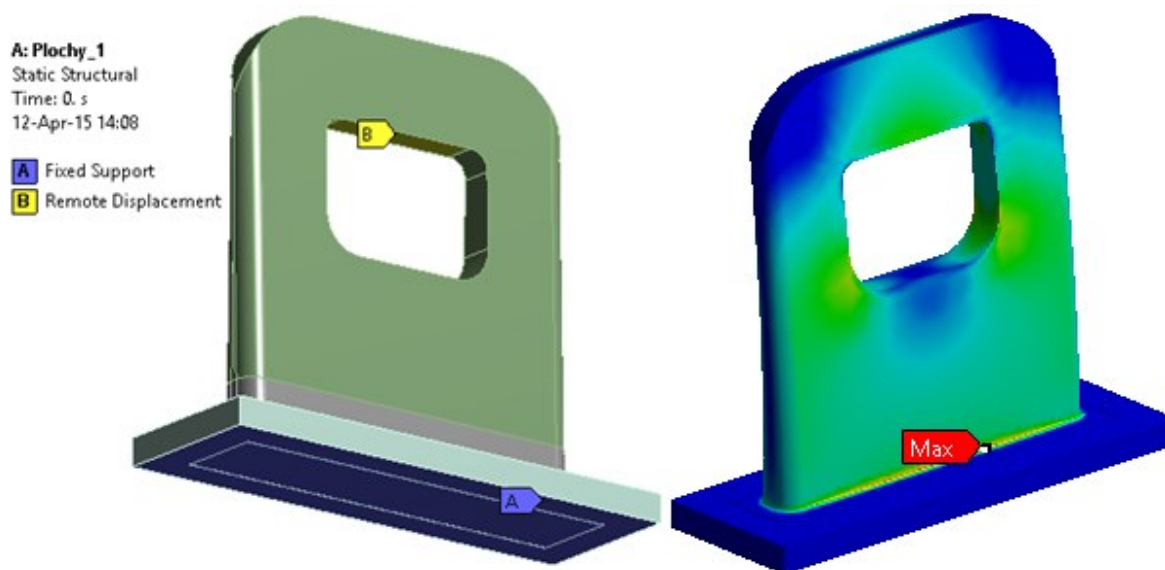


Obr. 6.15 Plochý klip

6.2.6. Pevnostní výpočet plochého klipu

MKP výpočet

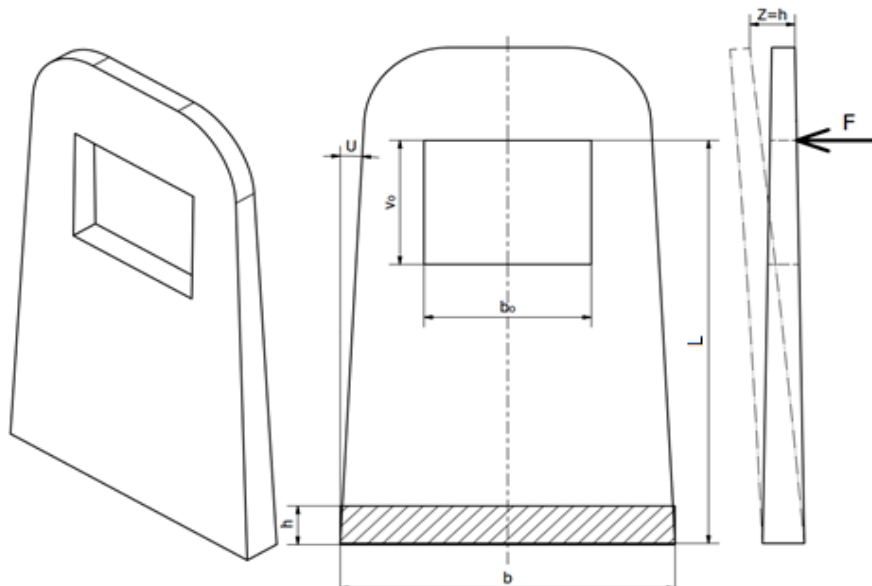
Geometrická úprava modelu je totožná s jednoduchým i dvojitým klipem, zatížení plochého klipu je zadáno na vrchní část otvoru pro zapadnutí šoupátka velikost i způsob zatížení jsou identické s předešlými modely. Otvor pro zaskočení šoupátka je opatřen technologickými zaobleními pro zamezení vzniku koncentrací napětí v oblasti otvoru.



Obr. 6.16 Plochý klip okrajové podmínky, průběh napětí v klipu

Analytický výpočet

Výpočet klipu je totožný s výpočtem jednoduchého klipu, to z důvodu zjednodušení klipu na nosník rovnoměrného průřezu namáhaného na ohyb. Hodnoty napětí pro různé výšky klipu jsou uvedeny v následující tabulce.



Obr. 6.17 Schéma plochého klipu

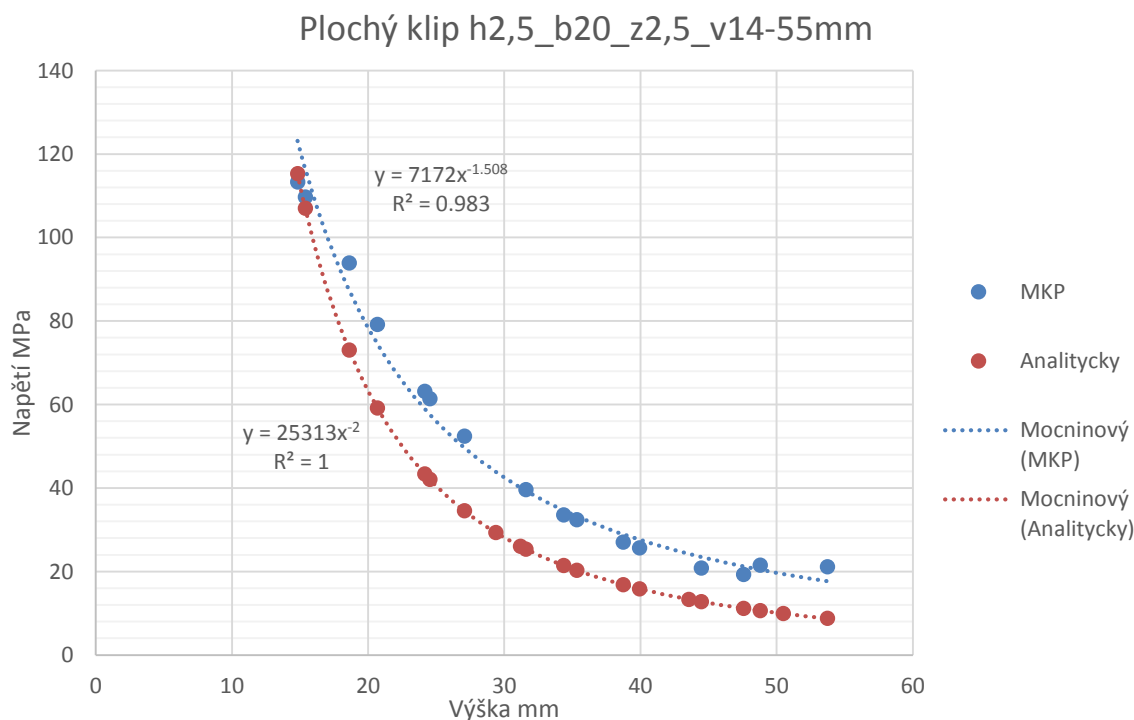
Hodnoty napětí pro různé délky klipu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6.6 Výsledky analytického výpočtu plochého klipu h2,5_b20_z2,5_v14-55mm

| L mm | Fy N | Mo Nmm | σ_o MPa | τ MPa | σ_{HMH} MPa |
|-------|--------|---------|----------------|------------|--------------------|
| 14.82 | 162.06 | 2401.48 | 115.27 | 0.08 | 115.27 |
| 15.38 | 144.89 | 2228.71 | 106.98 | 0.07 | 106.98 |
| 18.62 | 81.72 | 1521.39 | 73.03 | 0.04 | 73.03 |
| 20.68 | 59.64 | 1233.21 | 59.19 | 0.03 | 59.19 |
| 24.16 | 37.42 | 903.80 | 43.38 | 0.02 | 43.38 |
| 24.53 | 35.72 | 876.32 | 42.06 | 0.02 | 42.06 |
| 27.07 | 26.59 | 719.79 | 34.55 | 0.01 | 34.55 |
| 29.39 | 20.78 | 610.71 | 29.31 | 0.01 | 29.31 |
| 31.20 | 17.37 | 541.78 | 26.01 | 0.01 | 26.01 |
| 31.59 | 16.73 | 528.54 | 25.37 | 0.01 | 25.37 |
| 34.37 | 12.99 | 446.43 | 21.43 | 0.01 | 21.43 |
| 35.32 | 11.97 | 422.69 | 20.29 | 0.01 | 20.29 |
| 38.75 | 9.07 | 351.29 | 16.86 | 0.00 | 16.86 |
| 39.94 | 8.28 | 330.57 | 15.87 | 0.00 | 15.87 |
| 43.55 | 6.38 | 278.03 | 13.35 | 0.00 | 13.35 |
| 44.48 | 5.99 | 266.58 | 12.80 | 0.00 | 12.80 |
| 47.59 | 4.89 | 232.88 | 11.18 | 0.00 | 11.18 |
| 48.80 | 4.54 | 221.48 | 10.63 | 0.00 | 10.63 |
| 50.48 | 4.10 | 206.95 | 9.93 | 0.00 | 9.93 |
| 53.74 | 3.40 | 182.58 | 8.76 | 0.00 | 8.76 |

Tab. 6.7 Výsledky MKP plochého klipu h2,5_b20_z2,5_v14-55mm

| L mm | Ekvivalentní napětí MPa |
|-------|-------------------------|
| 14.82 | 113.28 |
| 15.38 | 109.73 |
| 18.62 | 93.93 |
| 20.68 | 79.15 |
| 24.16 | 63.18 |
| 24.53 | 61.37 |
| 27.07 | 52.42 |
| 29.39 | 46.35 |
| 31.20 | 42.85 |
| 31.59 | 39.65 |
| 34.37 | 33.53 |
| 35.32 | 32.40 |
| 38.75 | 27.07 |
| 39.94 | 25.68 |
| 43.55 | 22.98 |
| 44.48 | 20.82 |
| 47.59 | 19.32 |
| 48.80 | 21.49 |
| 50.48 | 21.26 |
| 53.74 | 21.10 |

Porovnání výsledků MKP a Analytického výpočtu.

Obr. 6.18 Graf porovnání výsledků Analytického a MKP výpočtu plochého klipu

Grafy srovnání dalších průřezů jsou zobrazeny v Příloze 3.

7. Tvorba parametrických modelů

Pro tvorbu modelů byl použitý program CATIA V5. Nejdříve byly vytvořeny základní modely klipů v modulu Part Design, který slouží na tvorbu jednotlivých dílů. Následně byly vytvořeny parametry v modul Knowledge Advisor. Modul poskytuje možnost komplexní tvorby parametrů a následného přiřazení k rozměrům modelu.

7.1. Postup tvorby modelů

Modely klipů byli tvořeny s rozměry přizpůsobenými následné tvorbě parametrů. Jednotlivé rozměry jsou rozděleny do dvou skupin, na závislé a nezávislé. Závislé rozměry budou následně propojeny funkcemi a vztahy s nezávislými rozměry. Nezávislé rozměry budou zadávány konstruktérem podle jeho požadavků.

7.2. Pevnostní kontrola parametrických modelů

Klipy budou při tvorbě kontrolovány pevnostně podle požadavků firmy. Omezující podmínky obsahují kontrolu minimální výšky klipu, kontrolu na zatížení od nesprávné manipulace, výpočet maximální výšky pro dostatečnou tuhost klipu. Kontrola v parametrických modelech bude prováděná analytickým výpočtem z důvodu jednodušší úpravy pro naprogramování podmínek a implementace pro všechny rozměry průřezů. Pro naprogramování podmínek vyplývajících z MKP výpočtu by bylo zapotřebí provést MKP výpočet pro všechny dostupné kombinace průřezů i velikosti posunutí klipu.

7.2.1. Kontrola minimální výšky klipu

Kontrola bude vycházet z analytického výpočtu ohybového napětí od zatížení posunutím. Smykové napětí se zanedbává pro jeho malé hodnoty, které v konečném důsledku svojí velikostí nemají vliv na výsledek při hodnotách, ve kterých je ohybové napětí pod hodnotou meze kluzu. Napětí bude spočteno se statickou bezpečností $k_s = 1$, tedy bude omezeno jenom mezí kluzu materiálu. Podmínka vyplývá z následujícího vzorce.

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} = \frac{F \cdot L}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{\frac{y \cdot 3 \cdot E \cdot I}{L^3} \cdot L}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{\frac{y \cdot 3 \cdot E \cdot b \cdot h^3 \cdot L}{L^3 \cdot 12}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} =$$

$$\frac{6 \cdot y \cdot 3 \cdot E \cdot b \cdot h^3 \cdot L}{L^3 \cdot 12 \cdot b \cdot h^2} \leq \sigma_{DO} = \frac{R_e}{k_s} \Rightarrow L_{min} = \sqrt{\frac{y \cdot 3 \cdot E \cdot h \cdot k_s}{2 \cdot R_e}} \quad (7.1)$$

7.2.2. Výpočet maximální výšky pro dostatečnou tuhost klipu

Podmínka dostatečné tuhosti je omezená minimální silou potřebnou na ohyb klipu o dané posunutí. Minimální síla je daná firmou $F_{min} = 5 \text{ N}$.

$$y = \frac{F_y \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \Rightarrow L_{max} = \sqrt[3]{\frac{y \cdot E \cdot b \cdot h^3}{4 \cdot F_{min}}} \quad (7.2)$$

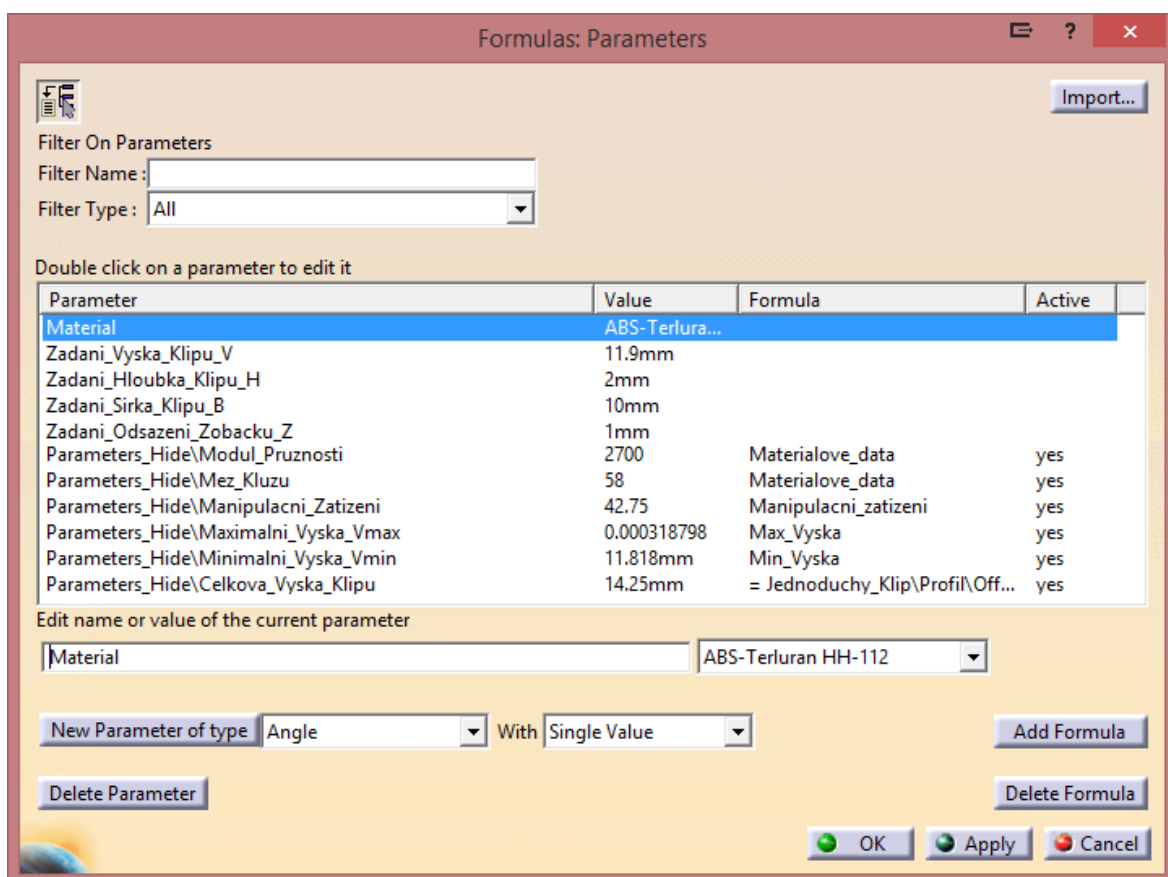
7.2.3. Kontrola klipu na zatížení nesprávnou manipulací

Kontroluje se ohybové napětí od síly $F_{man} = 20 \text{ N}$ působící na vrcholu klipu, tedy na největším rameni. Kontrola má za úkol simulovat zatížení klipu při nesprávné manipulaci a střetu klipu s jinou součástí mimo montáž. Velikost síly byla doporučena firmou Varroc.

$$\sigma_{Omin} = \frac{M_O}{W_O} = \frac{F_{man} \cdot L_{celk}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} \leq \sigma_{DO} = \frac{R_e}{k_s} = R_e \quad (7.3)$$

7.3. Jednoduchý klip

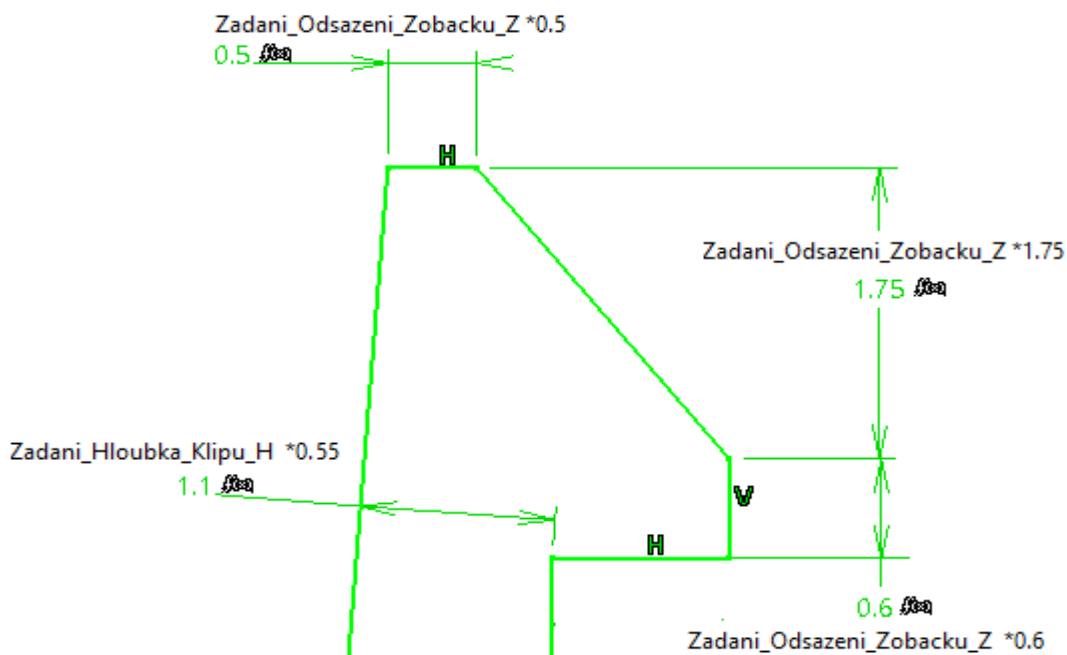
Jako první bylo zapotřebí nadefinovat jednotlivé parametry. K nadefinování byla použita funkce Formulas. Po spuštění funkce se zobrazí nabídka pro tvorbu parametrů. Zde byly postupně zadány parametry typu Lenght (délka), které slouží k parametrizaci délkových rozměrů. Postupně byly vytvořeny parametry zobrazené v následujícím obrázku.



Obr. 7.2.1 Vytvořené parametry jednoduchého klipu

Vytvořené parametry byly přiřazeny jednotlivým kótám v náčrtu modelu. Přiřazení parametrů se provádí dvojklikem na danou kótu. Po zobrazení nabídky kóty kliknutím pravým tlačítkem myši do textového pole hodnoty kóty, v zobrazené nabídce se vybere funkce Formula a její podfunkce Edit. V zobrazeném okně se vybere vytvořený parametr a potvrdí se tlačítkem OK. Po propojení rozměru s parametrem se za hodnotou kóty zobrazí znak $f(x)$. Hloubka klipu se dle doporučení výrobce materiálu zmenšuje od podstavy po zobáček klipu. Hloubka ve výšce zobáčku má u jednoduchého klipu 55% hloubku proti patě klipu, u dvojitého klipu je to 60%, u plochého 70%. Popsaná změna průřezu upravuje průběh a rozložení ohybového napětí v klipu, hodnoty změny rozměrů jsem zvolil podle

experimentu, který jsem provedl v programu Ansys workbench přičemž jsem měnil poměr hloubek klipu, až jsem dosáhl nejlepší shody s analytickým výpočtem.

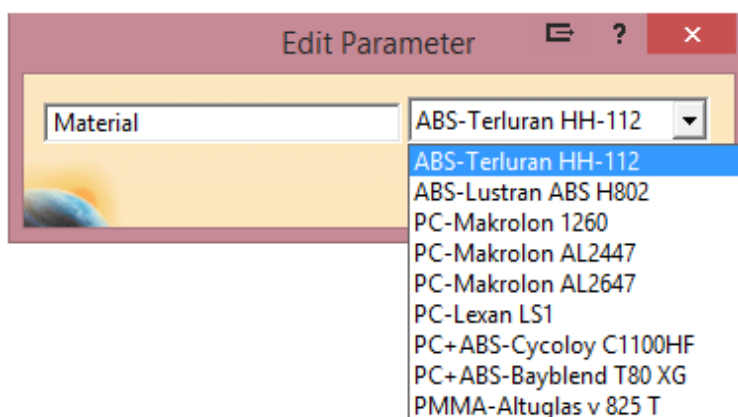


Obr. 7.2.2 Parametry rozměrů zobáčku

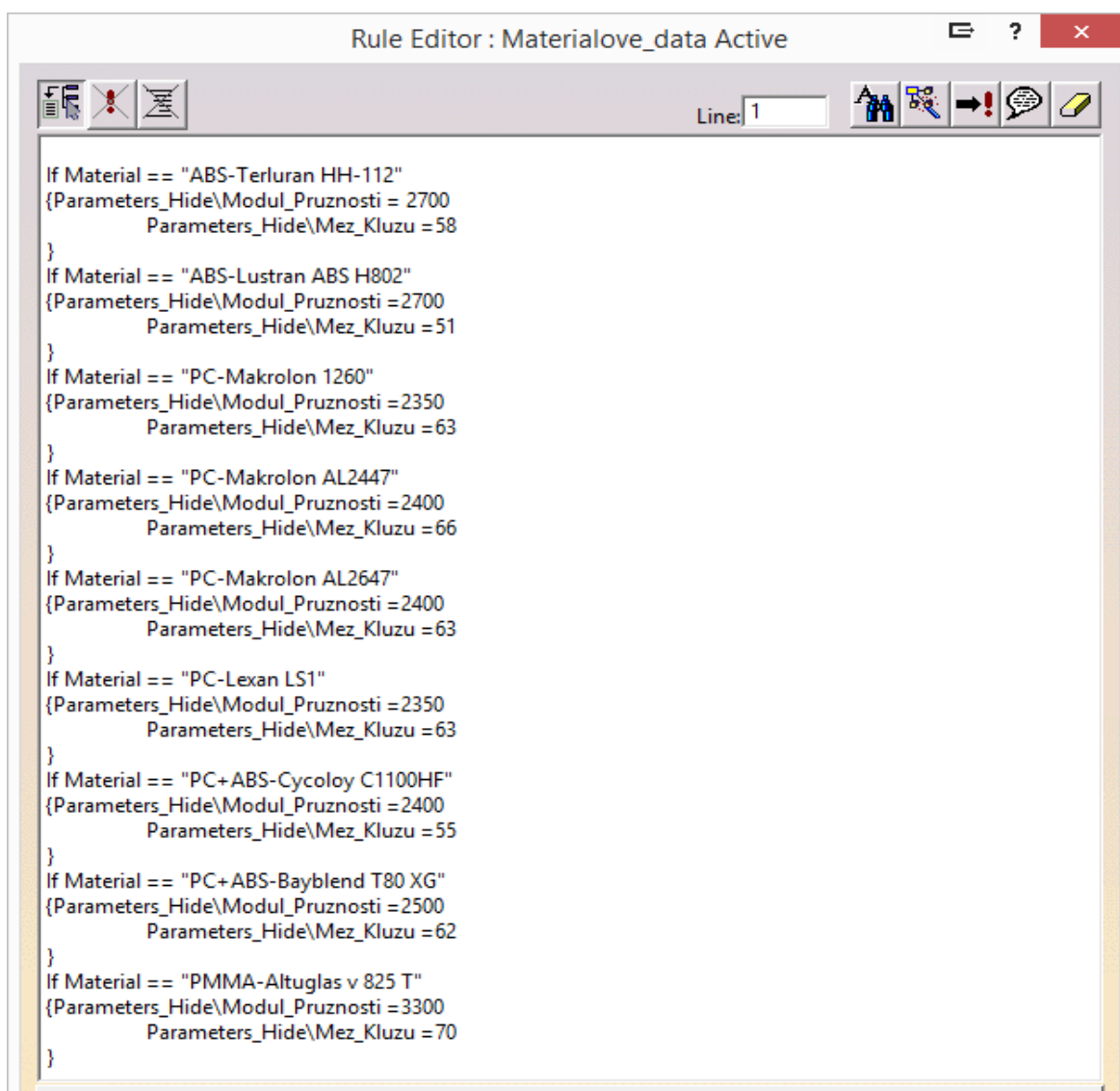
Po vytvoření parametrů a jejich propojení s kóty náčrtu bylo zapotřebí vytvořit výpočetní vztahy pro pevnostní kontrolu klipu. Vztahy byly nadefinovány pomocí funkce Rule.

Zadání materiálových hodnot

Pomocí jednoduchého programování byly zadány materiálové vlastnosti, což umožňuje pevnostní kontrolu pro všechny zadané výrobní materiály. Po výběru materiálu se přiřadí hodnoty Mez kluzu a Modul pružnosti do parametrů, odkud jsou vyvolávány do pevnostních rovnic.



Obr. 7.2.3 Výběr materiálu pro klip



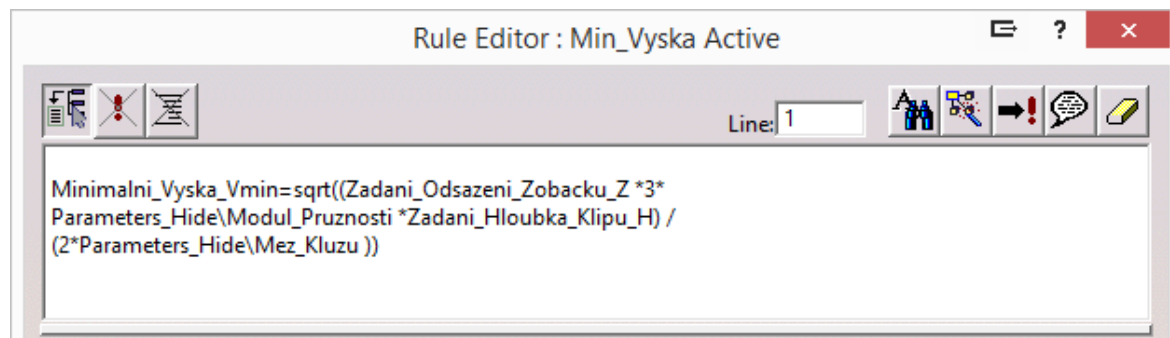
Obr. 7.2.4 Kód pro přiřazení materiálových vlastností

7.4. Pevnostní kontroly

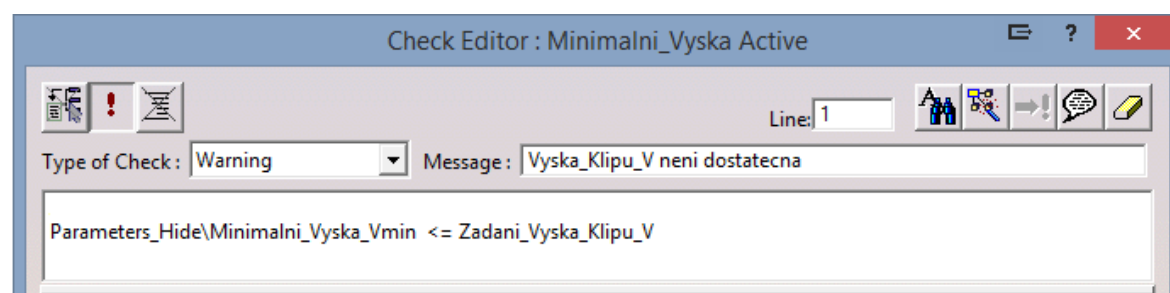
Pevnostní kontroly byly naprogramovány ve všech třech vytvořených modelech klipů.

Minimální výška

Minimální výška klipu je omezena pevnostní rovnicí 7.1 pro zamezení vzniku plastických deformací při montáži.



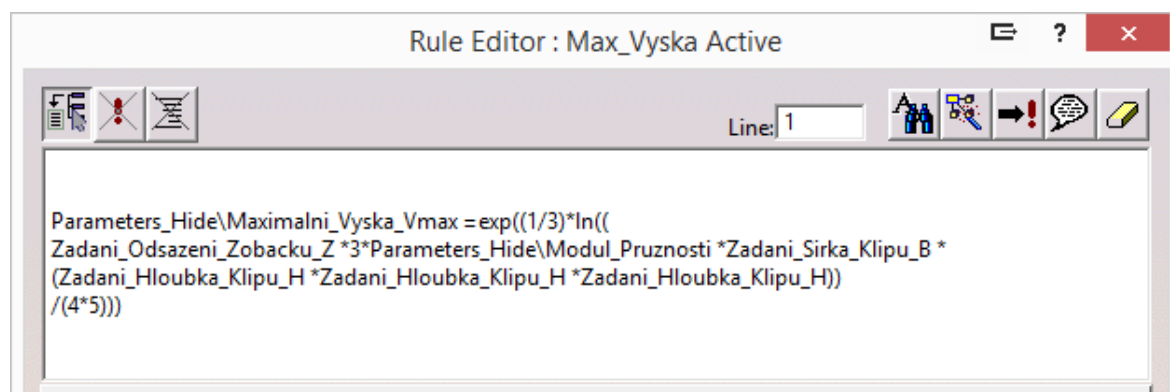
Obr. 7.2.5 Kód pro výpočet minimální výšky



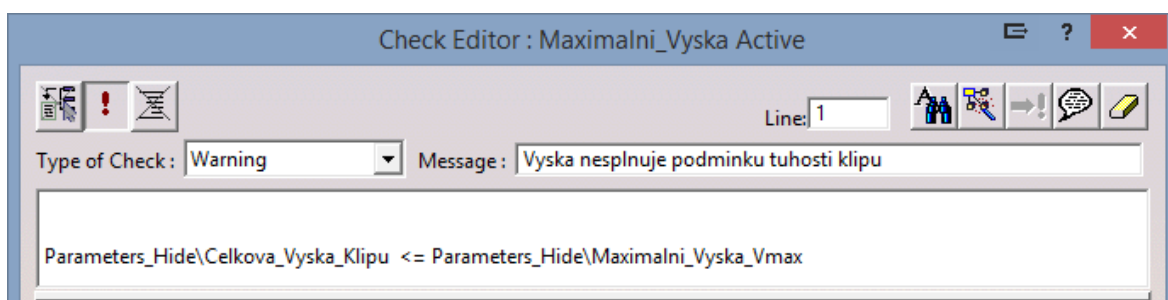
Obr. 7.2.6 Podmínka a chybová hláška pro minimální výšku

Maximální výška

Maximální výška klipu je omezena rovnicí 7.2 pro zabezpečení dostatečného odporu klipu pro celistvost spoje.



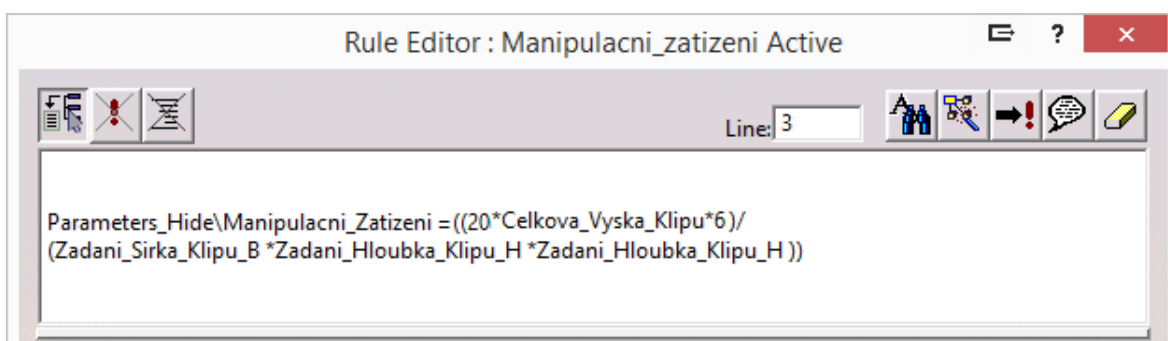
Obr. 7.2.7 Kód pro výpočet maximální výšky



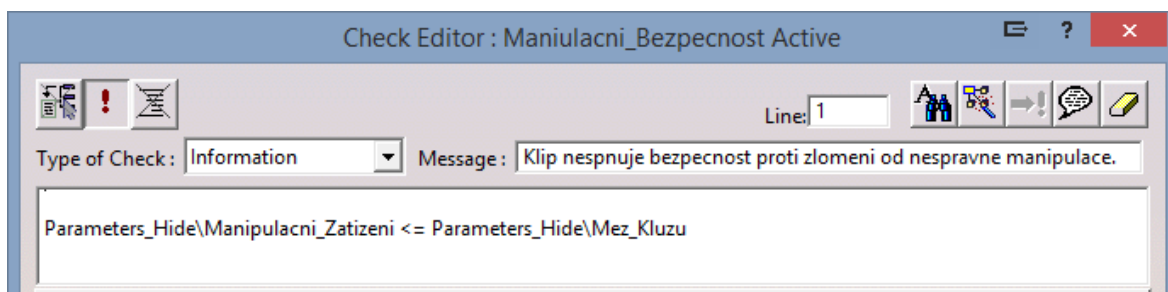
Obr. 7.2.8 Podmínka a chybová hláška pro maximální výšku

Manipulační zatížení

Manipulační zatížení, je kontrola klipu na odolnost proti nesprávné manipulaci dána rovnicí 7.3 na sílu $F_{man} = 20N$.



Obr. 7.2.9 Kód pro kontrolu manipulačního zatížení



Obr. 7.2.10 Podmínka a informační hláška pro manipulační zatížení

Pro dvojitý a plochý klip byly vztahy pozměněny jenom v názvech jednotlivých parametrů, které můžeme vidět na následujících obrázcích.

7.5. Dvojitý klip

Parametry vytvořené pro dvojitý klip.

Formulas: Parameters

Filter On Parameters

Filter Name :

Filter Type : All

Double click on a parameter to edit it

| Parameter | Value | Formula | Active |
|--|---------------------|--------------------|--------|
| Material | ABS-Terluran HH-112 | | |
| Zadani_Odsazeni_Zobacku_Z | 1mm | | |
| Zadani_Vyska_Klipu_V | 13.5mm | | |
| Zadani_Hloubka_Klipu_H | 2.5mm | | |
| Zadani_Sirka_Klipu_B | 5mm | | |
| Rozverny_Uhel | 24deg | | |
| Parameters_Hide\Modul_Pruznosti | 2700 | Materialove_data | yes |
| Parameters_Hide\Mez_Kluzu | 58 | Materialove_data | yes |
| Parameters_Hide\Manipulacni_Zatizeni | 60 | Manipulacni_Za... | yes |
| Parameters_Hide\Maximalni_Vyska_Vmax | 0.316mm | Max_Vyska | yes |
| Parameters_Hide\Minimalni_Vyska_Vmin | 13.222mm | Min_Vyska | yes |
| Parameters_Hide\Delka_Hrany | 13.344mm | Min_Vyska | yes |
| Parameters_Hide\Celkova_Vyska_Klipu_Vc | 15.85mm | = Dvojity_Klip\... | yes |

Edit name or value of the current parameter

Material ABS-Terluran HH-112

New Parameter of type Angle With Single Value

Add Formula

Delete Parameter

Delete Formula

OK Apply Cancel

Obr. 7.2.11 Vytvořené parametry dvojitého klipu

7.6. Plochý klip

Parametry vytvořené pro plochý klip.

Formulas: Parameters

Filter On Parameters

Filter Name:

Filter Type: All

Double click on a parameter to edit it

| Parameter | Value | Formula | Active |
|--|--------------------|---------------|--------|
| Material | ABS-Terluran HH... | | |
| 'Zadani_Vyska_k_Otvoru_V-otv' | 26mm | | |
| Zadani_Sirka_Klipu_B | 20mm | | |
| 'Zadani_Sirka_Otvoru_B-otv' | 10mm | | |
| Zadani_Hloubka_Klipu_H | 2.5mm | | |
| Parameters_Hide\Modul_Pruznosti | 2700 | Materialov... | yes |
| Parameters_Hide\Mez_Kluzu | 58 | Materialov... | yes |
| Parameters_Hide\Manipulacni_Zatizeni | 30 | Manipulac... | yes |
| Parameters_Hide\Maximalni_Vyska_Vmax | 0.681mm | Max_Vyska | yes |
| Parameters_Hide\Minimalni_Vyska_Klipu_Vmin | 20.891mm | Min_Vyska | yes |
| Parameters_Hide\Celkova_Vyska_Klipu_Vcelk | 32mm | = Plochy_K... | yes |

Edit name or value of the current parameter

Material ABS-Terluran HH-112

New Parameter of type Angle With Single Value

Add Formula

Delete Parameter

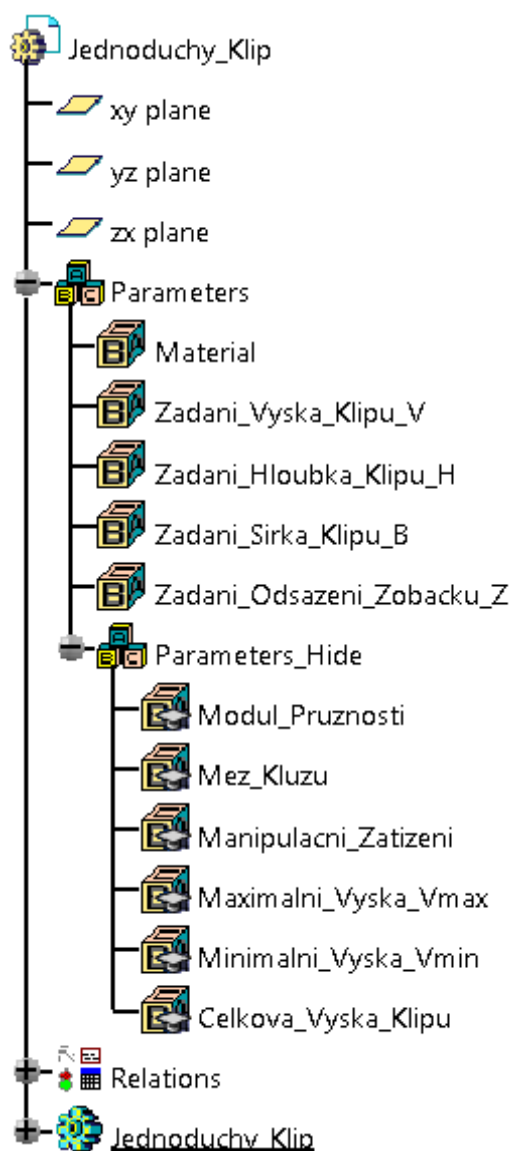
Delete Formula

OK Apply Cancel

Obr. 7.2.12 Vytvořené parametry plochého klipu

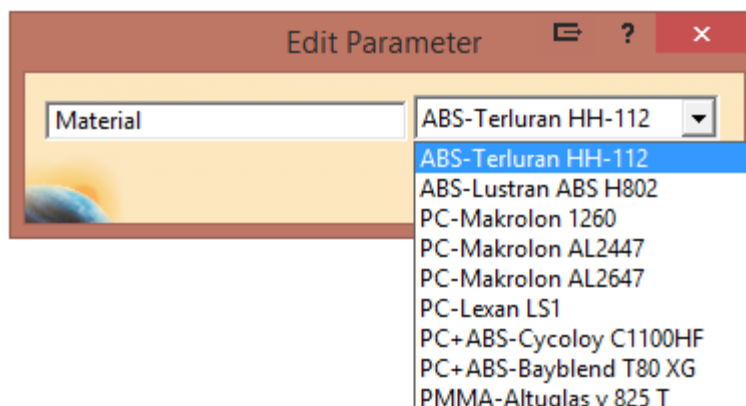
7.7. Generování jednoduchého klipu

Po otevření souboru Jednoduchý klip nám strom, který vidíme, na následujícím obrázku nabízí parametry pro zadání základních rozměrů klipu. V položce Parameters_Hide jsou uvedeny parametry používané pro kontrolní výpočty naprogramovaných vzorců, odkud se vyvolávají do vzorců a následně zapisují pro porovnání a splnění naprogramovaných podmínek.



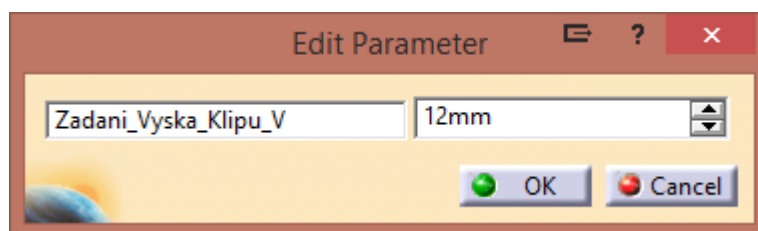
Obr. 7.2.13 Strom modelu se zobrazenými parametry

První parametr se volí materiál z vytvořeného seznamu. Výběrem se nám vyvolají hodnoty do skrytých parametrů Modul_Pružnosti, Mez_Pevnosti.



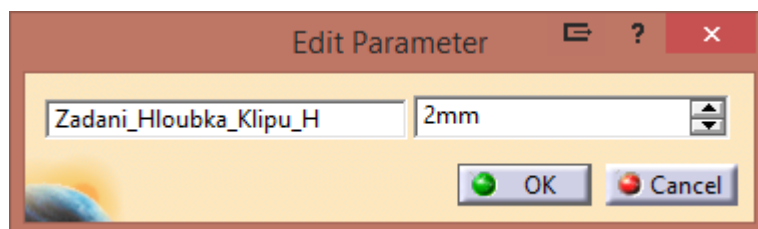
Obr. 7.2.14 Nabídka materiálů pro klip

Jeden ze základních parametrů klipu je jeho výška. Zadávaná výška je rozměr mezi podstavou a odsazením zobáčku. Parametr Minimalni_Vyska_Vmin konstruktérovi doporučuje minimální, tedy i optimální výšku klipu při splnění pevnostní kontroly a použití nejmenšího klipu pro vytvoření spoje.



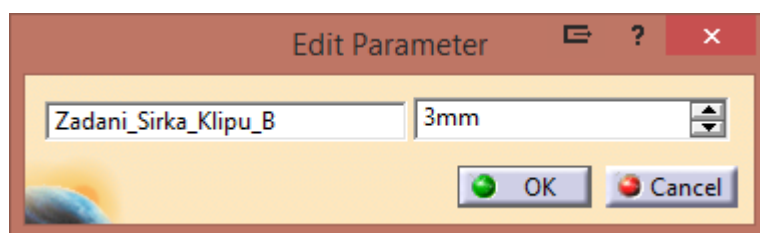
Obr. 7.2.15 Nabídka zadání výšky klipu

Hloubka klipu nám ovlivňuje výpočet minimální výšky klipu i jeho tuhost pro dostatečnou tuhost spojení.



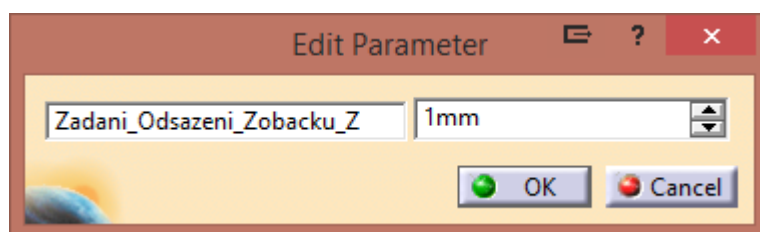
Obr. 7.2.16 Nabídka zadání hloubky klipu

Šířka klipu



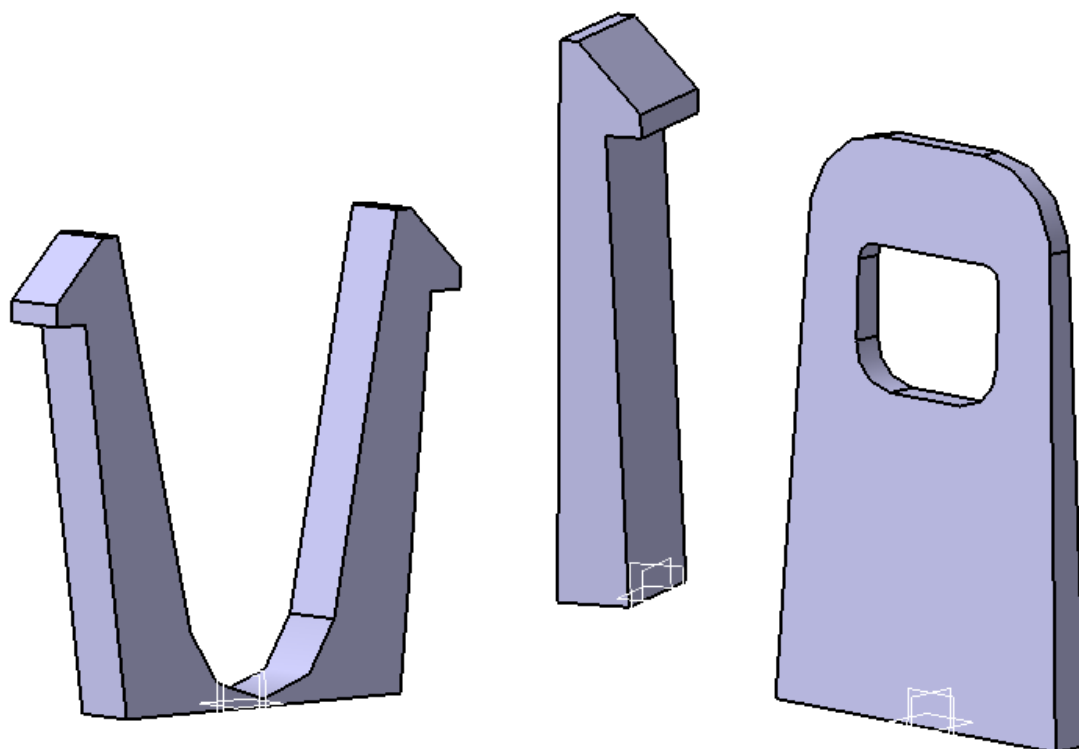
Obr. 7.2.17 Nabídka zadání šířky klipu

Odsazení zobáčku klipu.



Obr. 7.2.18 Nabídka zadání odsazení zobáčku

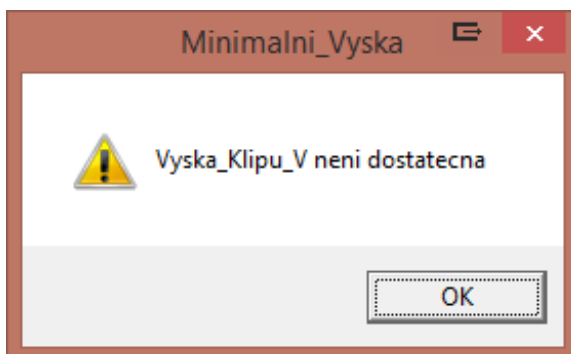
Po zadání všech rozměrů je vytvořen model klipu, který si konstruktér následně vloží do svého modelu.



Obr. 7.2.19 Modely vytvořených klipů

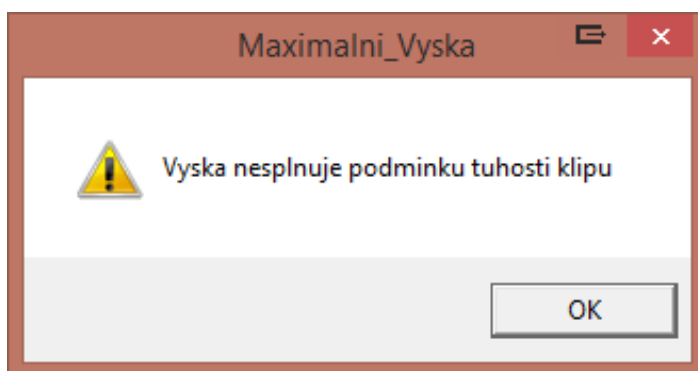
7.7.1. Chybové hlášení zobrazující se při nesplnění naprogramovaných podmínek

První chybové hlášení je varování o nedostatečné výšce klipu.



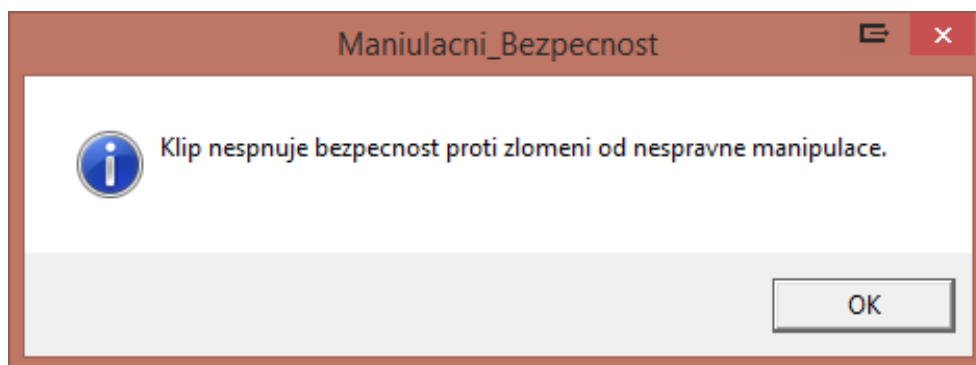
Obr. 7.2.20 Chybové hlášení minimální výška

Druhé chybové hlášení je varování o nedostatečném odporu klipu, tedy o malé přítlačné síle klipu.



Obr. 7.2.21 Chybové hlášení maximální výška

Třetí chybové hlášení je informační, protože nesplnění podmínky nemá vliv na pevnost spoje, který klip zabezpečuje. Informuje o nedostatečné odolnosti proti nesprávné manipulaci se součástí, do které je vložený vytvořený klip.



Obr. 7.2.22 Informační hlášení manipulační bezpečnost

8. Zkouška vytvořených parametrických modelů

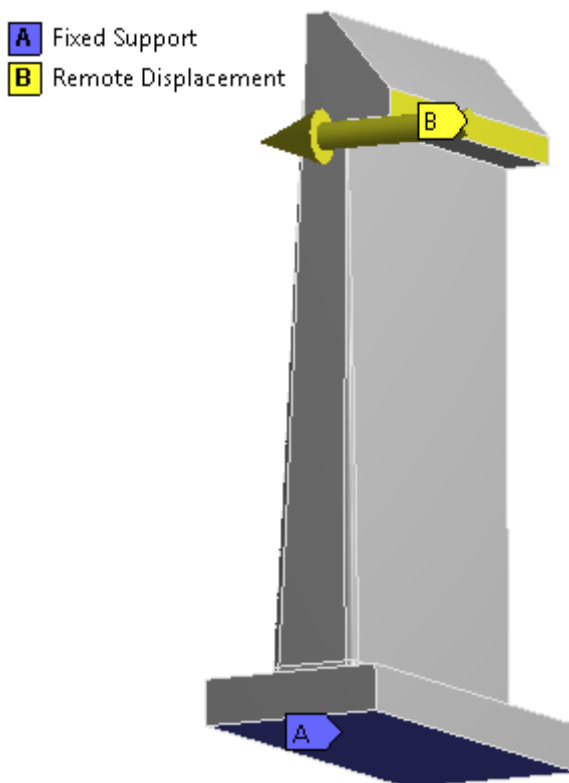
Pro kontrolu použitelnosti vytvořených parametrických modelů bylo potřebné provést MKP analýzu vygenerovaných klipů pro každý materiál. Nejdůležitější je kontrola minimální výšky klipu, která nejvíc ovlivňuje pevnost klipu a překročení meze kluzu při montáži.

8.1. Kontrolní pevnostní výpočet MKP

Pro kontrolu byly vygenerovány klipy z vytvořených modelů s nejnižší výškou dovolenou kontrolou pro daný materiál, průřez a velikost zobáčku. Následně byla každému modelu domodelována podstava s výškou 1mm a s odsazením od paty klipu 1mm z každé strany pro simulaci zabudování do výrobku. Svislé hrany klipu byly zaboleny technologickým zaoblením od zobáčku po patu proměnlivým zaoblením od 0 po 0,2mm. Pata klipu byla zaoblená konstantním poloměrem 0,3mm. Zaoblení bylo provedeno pro odstranění vzniku nekonečného napětí při ostrém přechodu klipu do podstavy.

8.1.1. Kontrola jednoduchého klipu.

Zadání okrajových podmínek bylo totožné s předešlými MKP výpočty, tedy fixní vazba na spodní straně podstavy, posunutí o velikosti zobáčku umístěné na čele zobáčku klipu.



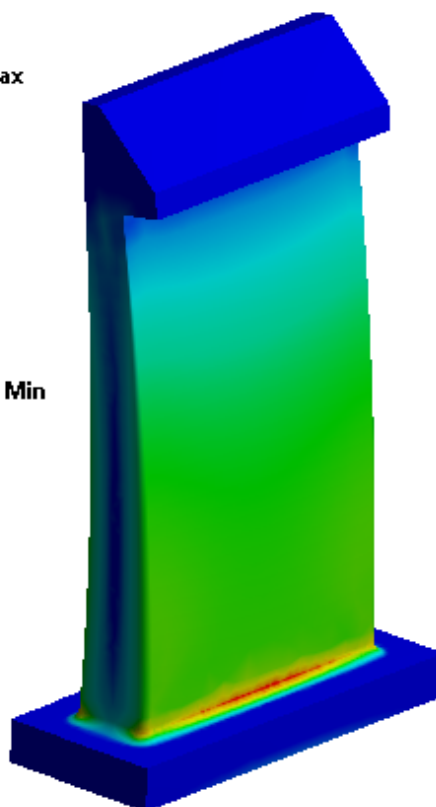
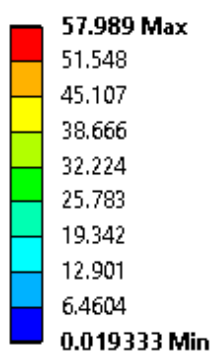
Obr. 8.1 Kontrolní výpočet okrajové podmínky jednoduchý klip

V tabulce vidíme maximální hodnoty napětí pro vygenerované jednoduché klipy, ve kterých byly rozměry $h=2$, $Z=1$ pevné a rozměry b a V se měnili na nejmenší hodnoty tak, aby vyhovovali naprogramovaným kontrolním hodnotám minimálních rozměrů výšky a velikosti manipulačního zatížení pro konkrétní materiál.

Tab. 8.1 Hodnoty napětí kontroly vytvořených modelů jednoduchého klipu

| Materiál | Minimální výška pro dané rozměry mm | Mez pevnosti MPa | Ekvivalentní napětí MPa |
|------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------|
| ABS Terluran HH-112 | 11,82 | 58 | 57,98 |
| ABS Lustran ABS H802 | 12,61 | 51 | 53,76 |
| PC Makrolon 1260 | 10,58 | 63 | 56,71 |
| PC Makrolon AL2447 | 10,45 | 66 | 62,15 |
| PC Makrolon AL2647 | 10,7 | 63 | 62,71 |
| PC Lexan LS1 | 10,58 | 63 | 61,4 |
| PC+ABS Cycloy C1100HF | 11,45 | 55 | 55,5 |
| PC+ABS Bayblend T80 XG | 11 | 62 | 57,82 |
| PMMA Altuglas v 825 T | 11,9 | 70 | 69,18 |

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1



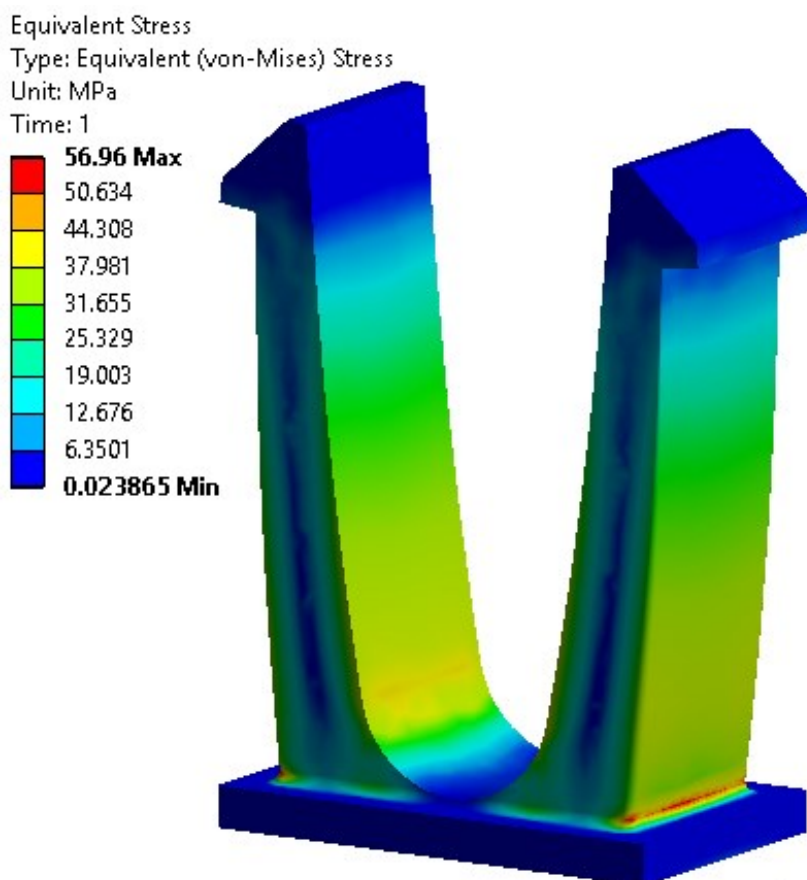
Obr. 8.2 Průběh a velikost napětí ve vygenerovaném jednoduchém klipu

8.1.2. Kontrola dvojitého klipu

Maximální hodnoty napětí pro vygenerované dvojité klipy $h=2.5$, $Z=1$. Rozměry b a V se měnili, aby vyhovovaly hodnotám minimálních rozměrů výšky a velikosti manipulačního zatížení pro konkrétní materiál, stejně jako u jednoduchého klipu.

Tab. 8.2 Hodnoty napětí kontroly vytvořených modelů dvojitého klipu

| Materiál | Minimální výška pro dané rozměry mm | Mez pevnosti MPa | Ekvivalentní napětí MPa |
|------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------|
| ABS Terluran HH-112 | 13.12 | 58 | 56.96 |
| ABS Lustran ABS H802 | 14 | 51 | 51.65 |
| PC Makrolon 1260 | 11.76 | 63 | 62.18 |
| PC Makrolon AL2447 | 11.61 | 66 | 63.1 |
| PC Makrolon AL2647 | 11.89 | 63 | 60.27 |
| PC Lexan LS1 | 11.76 | 63 | 60.88 |
| PC+ABS Cycloy C1100HF | 12.71 | 55 | 53.95 |
| PC+ABS Bayblend T80 XG | 12.22 | 62 | 59.72 |
| PMMA Altuglas v 825 T | 13.22 | 70 | 69.82 |



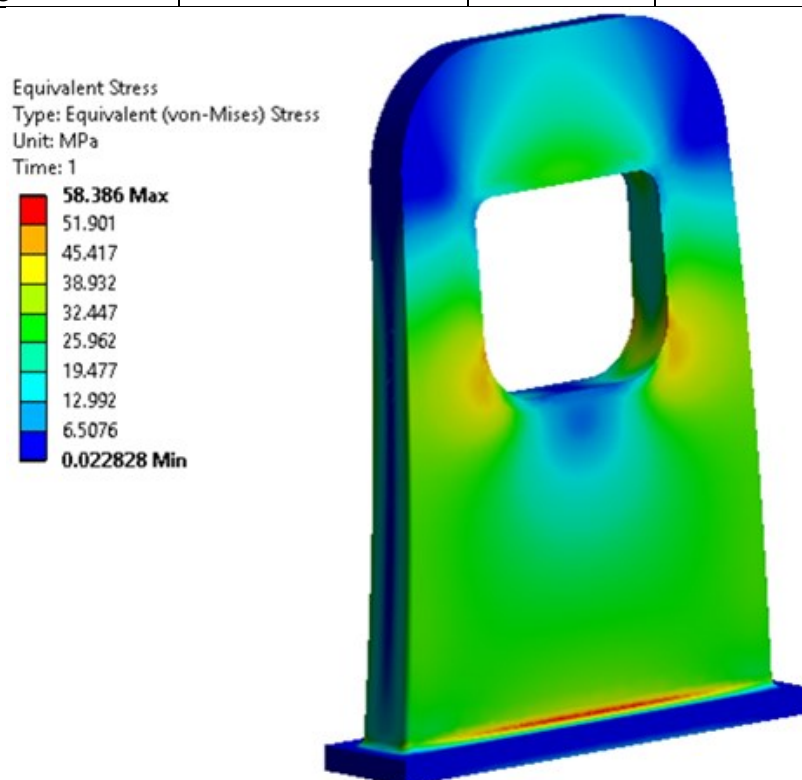
Obr. 8.3 Průběh a velikost napětí ve vygenerovaném dvojitém klipu

8.1.3. Kontrola plochého klipu

Maximální hodnoty napětí pro vygenerované ploché klipy $h=2,5$, $Z=2,5$. Rozměry b a V se měnily, aby vyhovovaly hodnotám minimálních rozměrů výšky a velikosti manipulačního zatížení stejně, jako v případě jednoduchého a dvojitého klipu.

Tab. 8.3 Hodnoty napětí kontroly vytvořených modelů plochého klipu

| Materiál | Minimální výška pro dané rozměry mm | Mez pevnosti MPa | Ekvivalentní napětí MPa |
|------------------------|--|---------------------|----------------------------|
| ABS Terluran HH-112 | 20.9 | 58 | 58.38 |
| ABS Lustran ABS H802 | 22.3 | 51 | 52.1 |
| PC Makrolon 1260 | 18.8 | 63 | 61.25 |
| PC Makrolon AL2447 | 18.5 | 66 | 62.9 |
| PC Makrolon AL2647 | 18.9 | 63 | 61.23 |
| PC Lexan LS1 | 18.7 | 63 | 60.1 |
| PC+ABS Cycloy C1100HF | 20.3 | 55 | 54.25 |
| PC+ABS Bayblend T80 XG | 19.5 | 62 | 60.52 |
| PMMA Altuglas v 825 T | 20.1 | 70 | 70.23 |



Obr. 8.4 Průběh a velikost napětí ve vygenerovaném plochem klipu

Z výsledků MKP analýz zobrazených v uvedených tabulkách 8.1, 8.2, 8.3 je zřejmé, že vytvořené parametrické modely klipů a jejich naprogramované kontroly jsou provedeny korektně a odpovídají MKP simulaci skutečného zatížení. Modely jsou připraveny pro použití v nových projektech, kde zjednoduší práci konstruktérům při návrhu spojů.

9. Závěr

Zadání diplomové práce se podařilo splnit, selekce klipů k tvorbě parametrických modelu v podobě jednoduchého, dvojitého a plochého klipu. Dále selekce používaných materiálů pro dané aplikace a návrh standardizace upevňovacích elementů pro používané materiály. Nakonec vytvoření parametrických modelů pro jednotlivé typy klipů a materiálů a zpětná pevnostní kontrola vygenerovaných klipů.

Jako první byla provedena analýza již použitých elementů z projektů, které byly dodány firmou Varroc lighting systems s.r.o. Celkem se vycházelo ze šesti projektů a konečného počtu třiceti tří použitých spojovacích elementů. Po MKP analýze všech klipů bylo rozhodnuto o tvorbě tří parametrických modelů, pro jednoduchý, dvojitý a plochý klip. Dále byly vytipovány nejpoužívanější materiály pro projekty ve světelné technice tedy i pro uchycovací elementy firmou Varroc. Bylo použito devět materiálů: dva materiály ABS, čtyři materiály PC, dva materiály kombinující ABS+PC a jeden materiál typu PMMA.

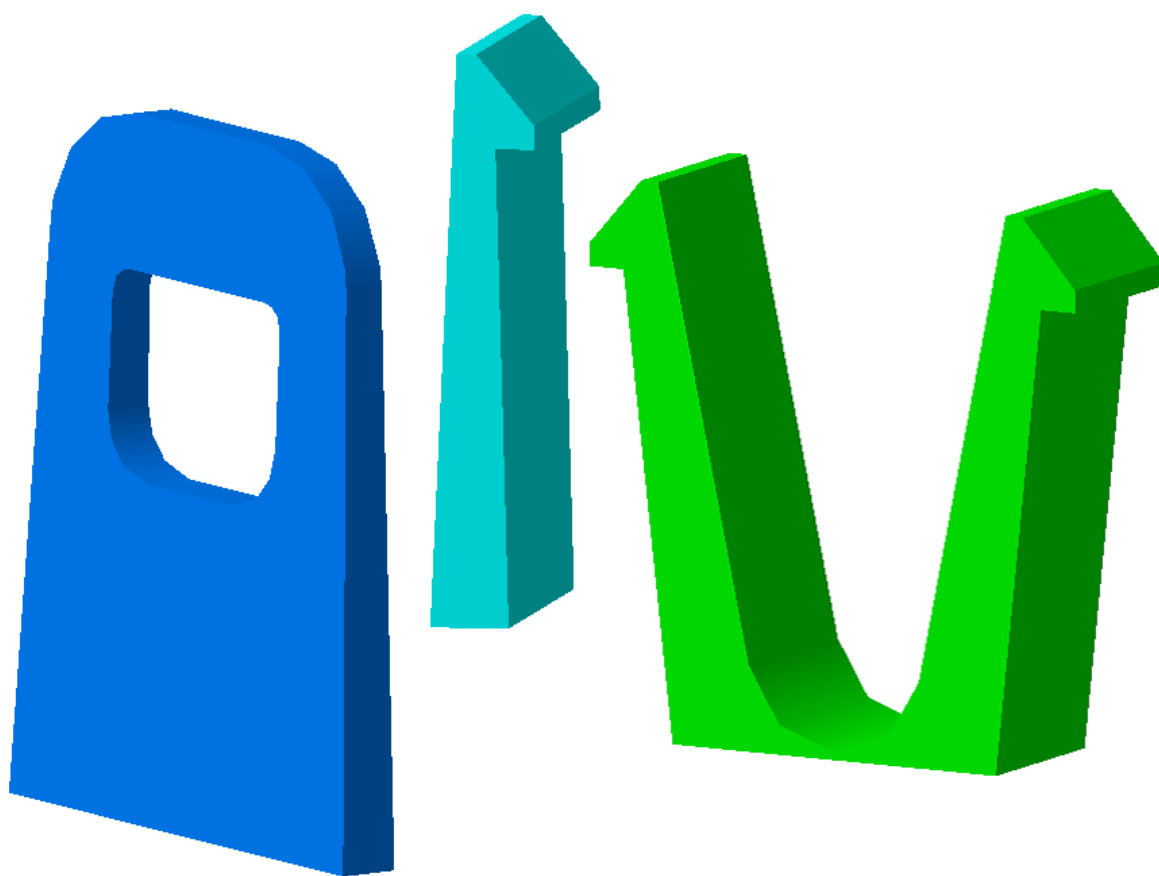
Vybrané tvary klipů byly zjednodušeny pro co nejjednodušší aplikaci analytických výpočtů a následně byly klipy podrobeny i výpočtům MKP v programu Ansys workbench 15. Zatížení klipů vyplývá z montáže součásti, tedy maximální vychýlení klipu pro zaskočení zobáčku za šoupátko protikusů. Vychýlení, tedy posunutí konce ramene klipu je dáno odsazením zobáčku klipu. Všechny tři klipy byly propočteny na různé kombinace průřezů i velikosti zobáčku a porovnány s MKP výpočty.

Pro tvorbu parametrických standardizovaných modelů klipů byl použit CAD software CATIA V5r18 a jeho modul Knowledge Advisor, který umožňuje jednoduchou tvorbu parametrů a programování různých požadavků. Vymodelované klipy mají dle doporučení výrobce plastů proměnlivou hloubku od paty klipu po zobáček. Hloubka ve výšce zobáčku má u jednoduchého klipu 55% hloubku proti patě klipu, u dvojitého klipu 60%, u plochého 70%. Popsaná změna průřezu upravuje rozložení ohybového napětí v klipu. Hodnoty změny rozměrů jsem určil experimentem, který jsem provedl v programu Ansys workbench 15 přičemž se měnil poměr hloubek klipu, až jsem dosáhl nejlepší shody s analytickým výpočtem. Rozměrům vytvořených klipů byly přiřazené vytvořené parametry jako jsou Výška klipu, Šířka klipu, Hloubka klipu atd.

Po vytvoření parametrizace bylo potřebné naprogramovat pevnostní kontrolu, která je tvořena analytickými výpočty. Pevnostně se parametrický model kontroluje vůči mezi kluzu zvoleného materiálu. Naprogramována byla kontrola minimální výšky klipu pro zatížení od montáže, maximální výška klipu pro dostatečnou tuhost a nakonec vyla vytvořena kontrola klipu na zatížení od nesprávné manipulace. Dále byly naprogramovány podmínky obsahující chybové hlášení o nesplnění pevnostních kontrol. Chybové hlášení jsou v podobě varování pro maximální a minimální výšku, pro zatížení od nesprávné manipulace je vytvořeno informativní hlášení, protože nesplnění kontroly nemá vliv na výslednou pevnost vytvořeného spojení.

Z parametrických modelů byly vygenerovány klipy nejtěsněji splňující naprogramované podmínky pro každý materiál. Každý vygenerovaný klip byl zkontrolován MKP výpočtem pro použitelnost realizovaných modelů. Výsledky jsou vypsány v tabulkách 8.1, 8.2, 8.3. Z tabulek vyčteme, že se vypočtené hodnoty liší minimálně proti kontrolovaným hodnotám meze kluzu zvoleného materiálu klipu.

Vytvořené standardizované parametrické modely klipů jsou plnohodnotným nástrojem pro optimalizaci konstrukce spojovacích elementů. Konstrukterovy umožňuje jednodušší tvorbu a současně kontrolu klipu. Použití standardizovaných modelů šetří potřebný čas, taky kontroluje možné poddimenzování klipu a jeho poruchu při testování, čím odpadá práce při předělávání a opětovném testu vytvořených spojů.



Obr. 9.1 Vytvořené modely parametrických standardizovaných klipů

Seznam použité literatury

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005, 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [2] Rutland Plastics Ltd. *Rutlandplastics* [online]. 2013-05-12. 2013 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://www.rutlandplastics.co.uk/advice/design_for_assembly_1.html
- [3] BAYER MATERIALSCIENCE. Snap-fit Joints for Plastic. *Snap-fit Joints for Plastic* [online]. 2012, 2012-03-09 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: http://fab.cba.mit.edu/classes/S62.12/people/vernelle.noel/Plastic_Snap_fit_design.pdf
- [4] BASF CORPORATION ENGINEERING PLASTICS. Snap-Fit Design Manual. In: *Snap-Fit Design Manual* [online]. 2007, 2007-07-16 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://web.mit.edu/2.75/resources/random/Snap-Fit%20Design%20Manual.pdf>
- [5] Miroslav BALDA, Jaroslav SVOBODA. *PROBLEMATIKA MEZNÍ ÚNAVOVÉ NAPJATOSTI PRI KOMBINOVANÉM NAMÁHÁNÍ* [online]. 2003, 2003-08-20 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/publications/balda/Svratka02.pdf>
- [6] Varroc Lighting Systems. *Varroc Lighting Systems* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://varroc.cz/o-nas-2.html>
- [7] Fundamentals of Annular Snap-Fit Joints. *Machine design* [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://machinedesign.com/fasteners/fundamentals-annular-snap-fit-joints>

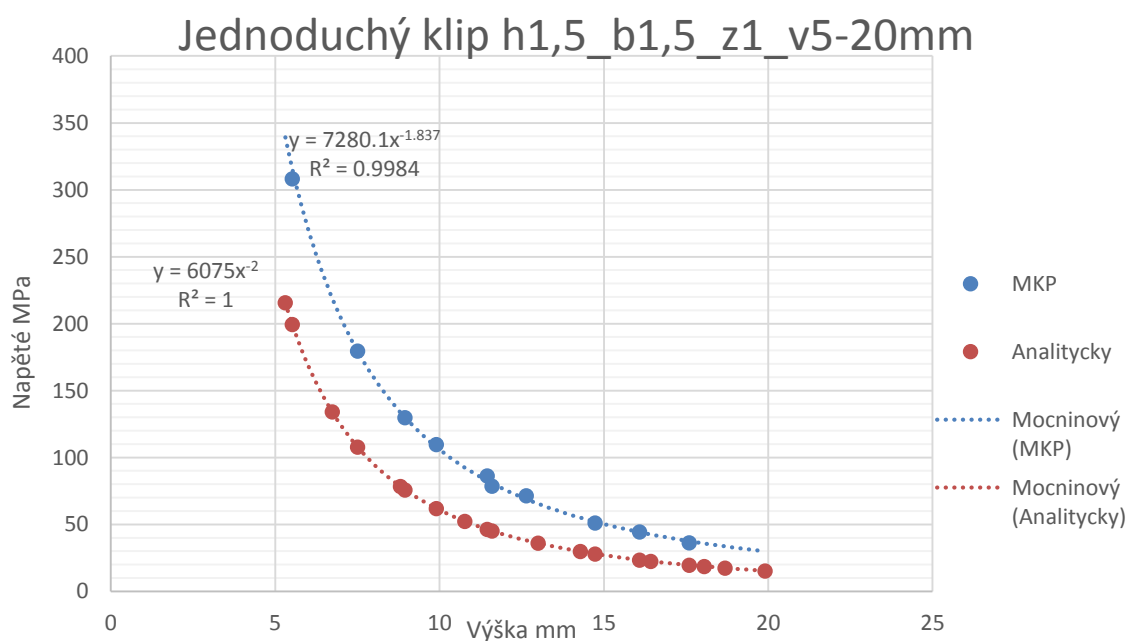
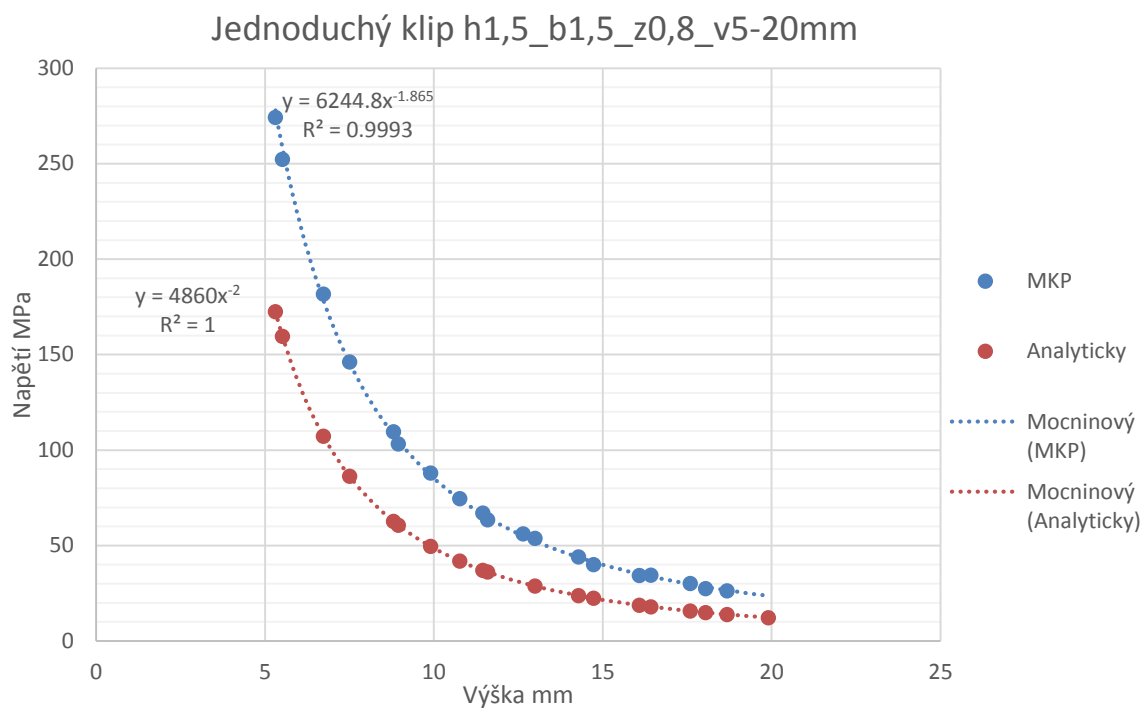
Seznam příloh

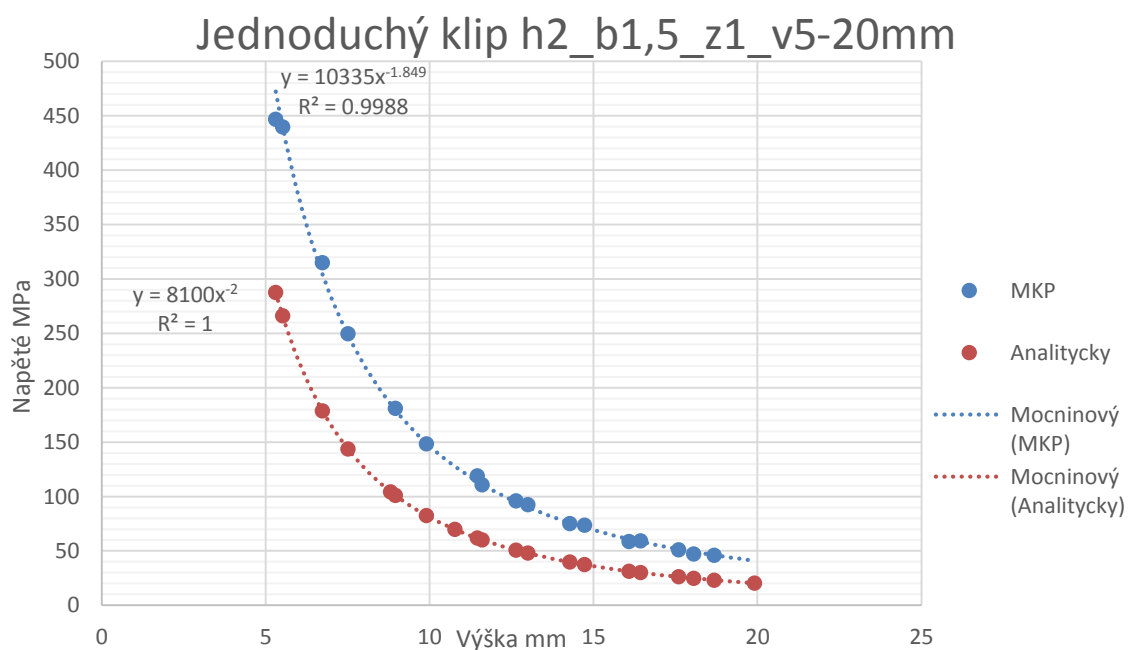
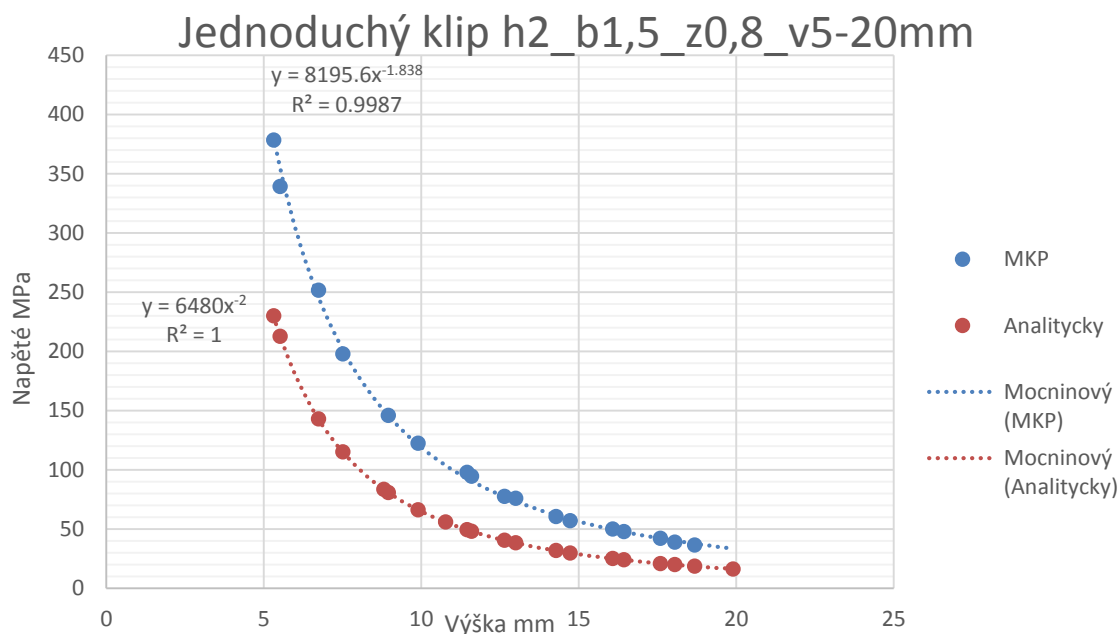
Příloha 1 Jednoduchý klip

Příloha 2 Dvojitý klip

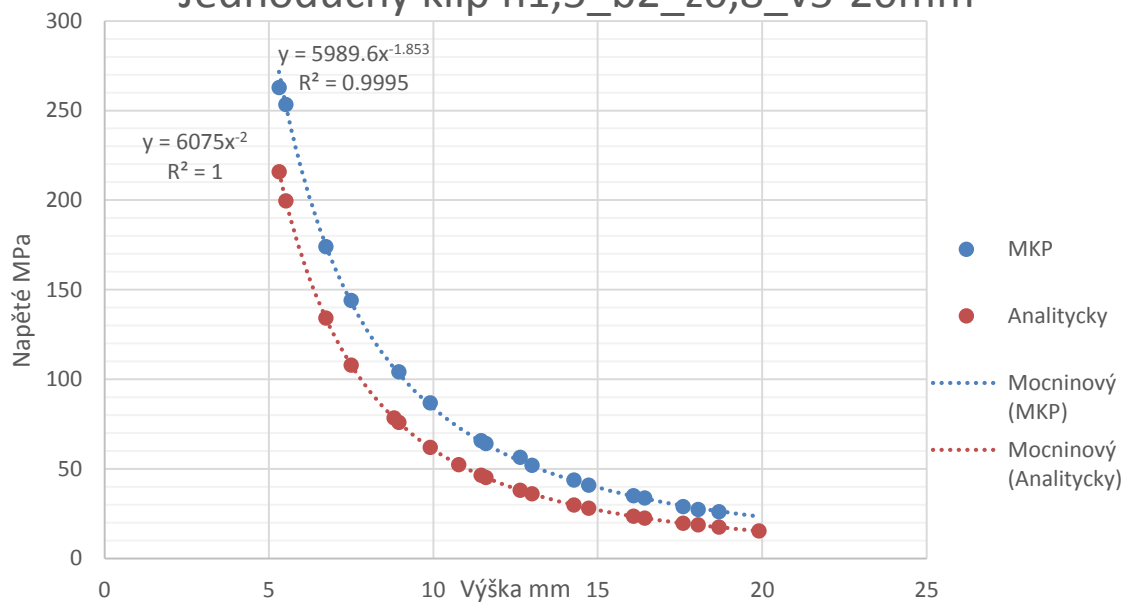
Příloha 3 Plochý klip

Příloha 1 Jednoduchý klip

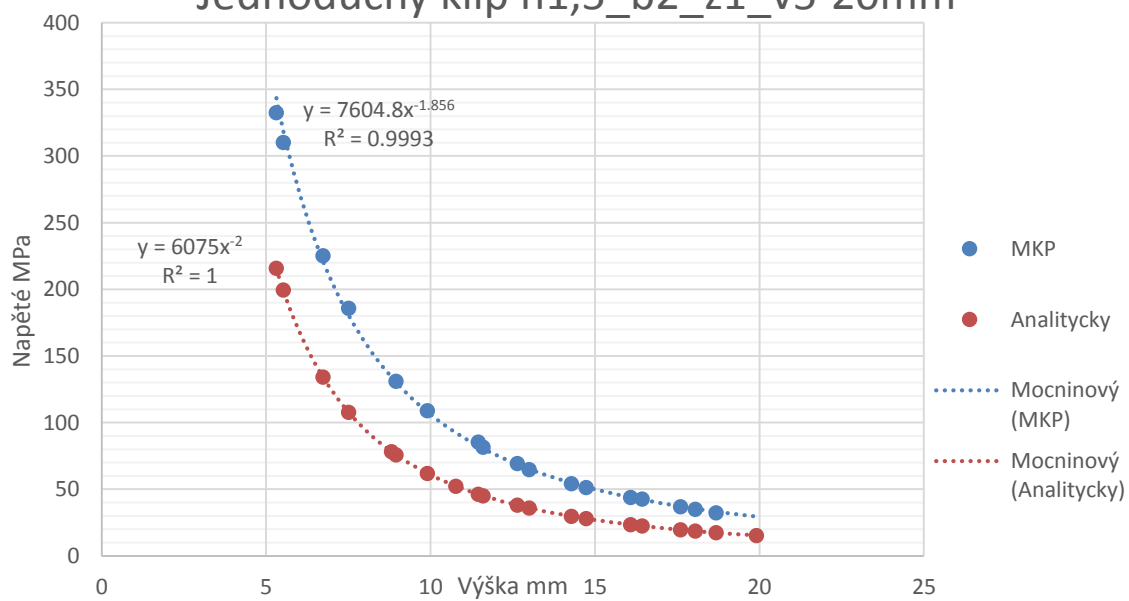




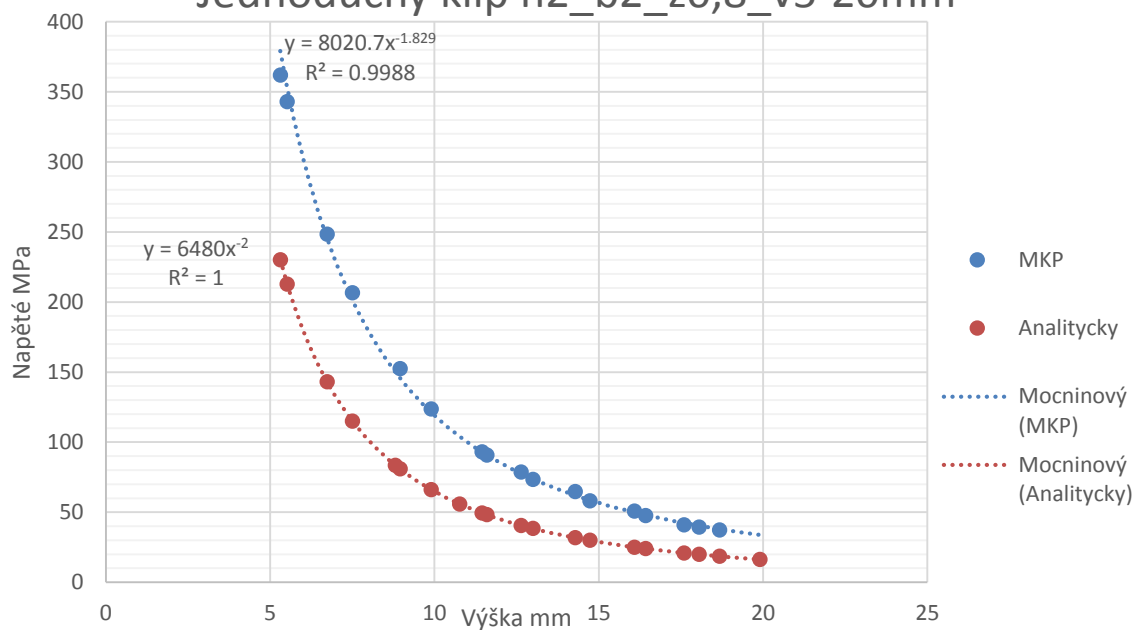
Jednoduchý klip h1,5_b2_z0,8_v5-20mm



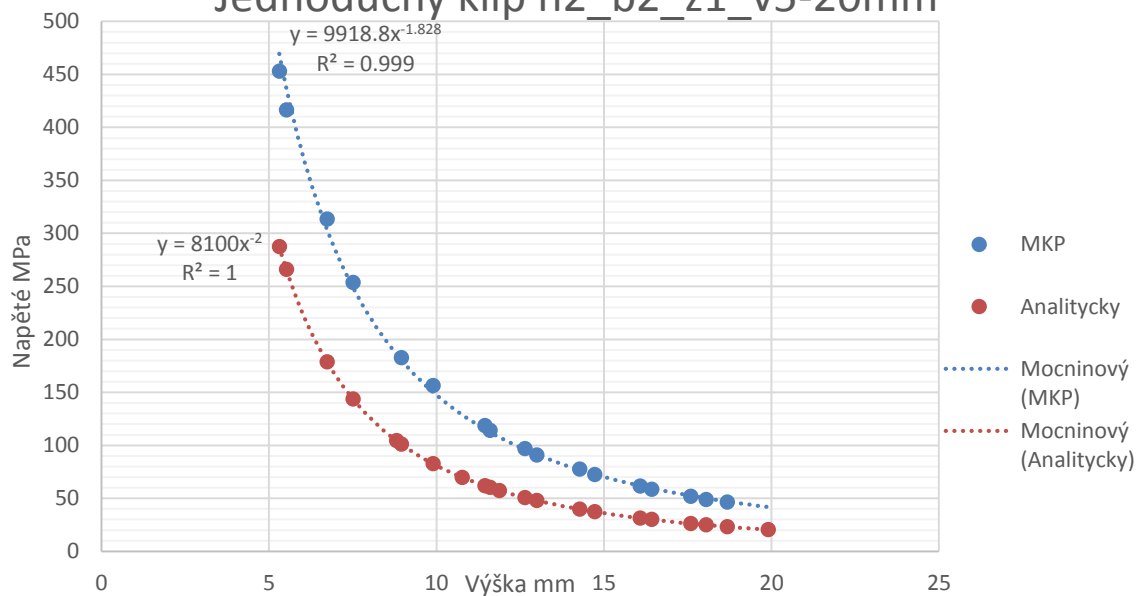
Jednoduchý klip h1,5_b2_z1_v5-20mm



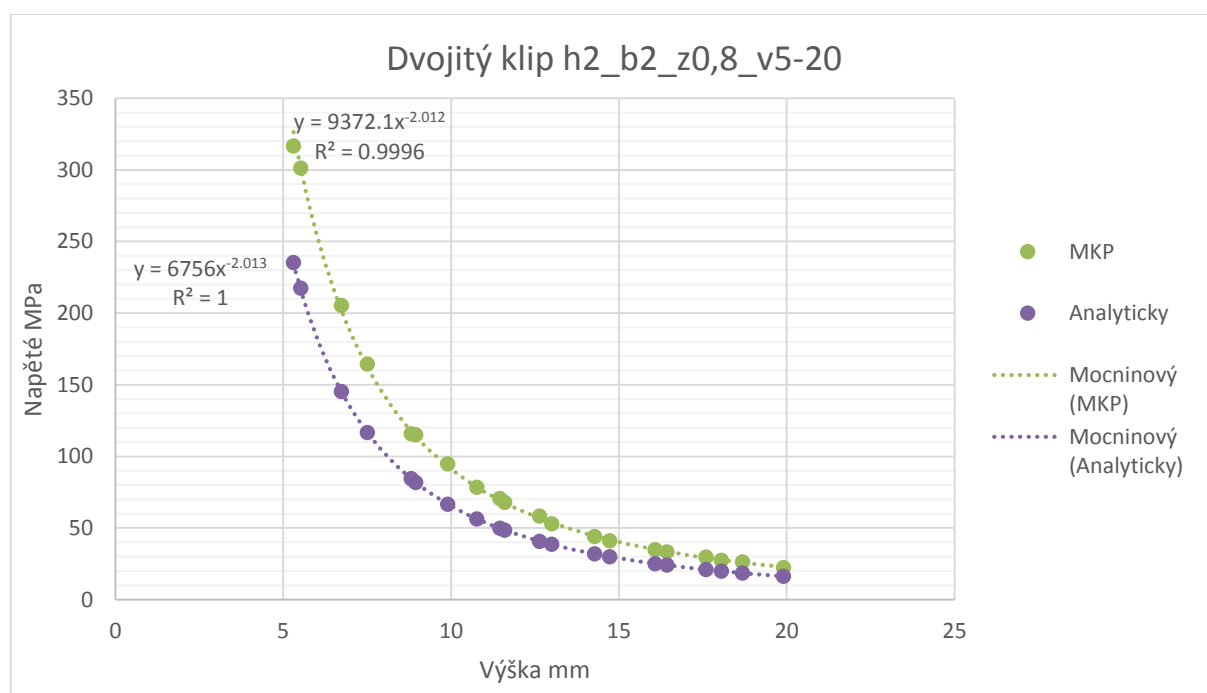
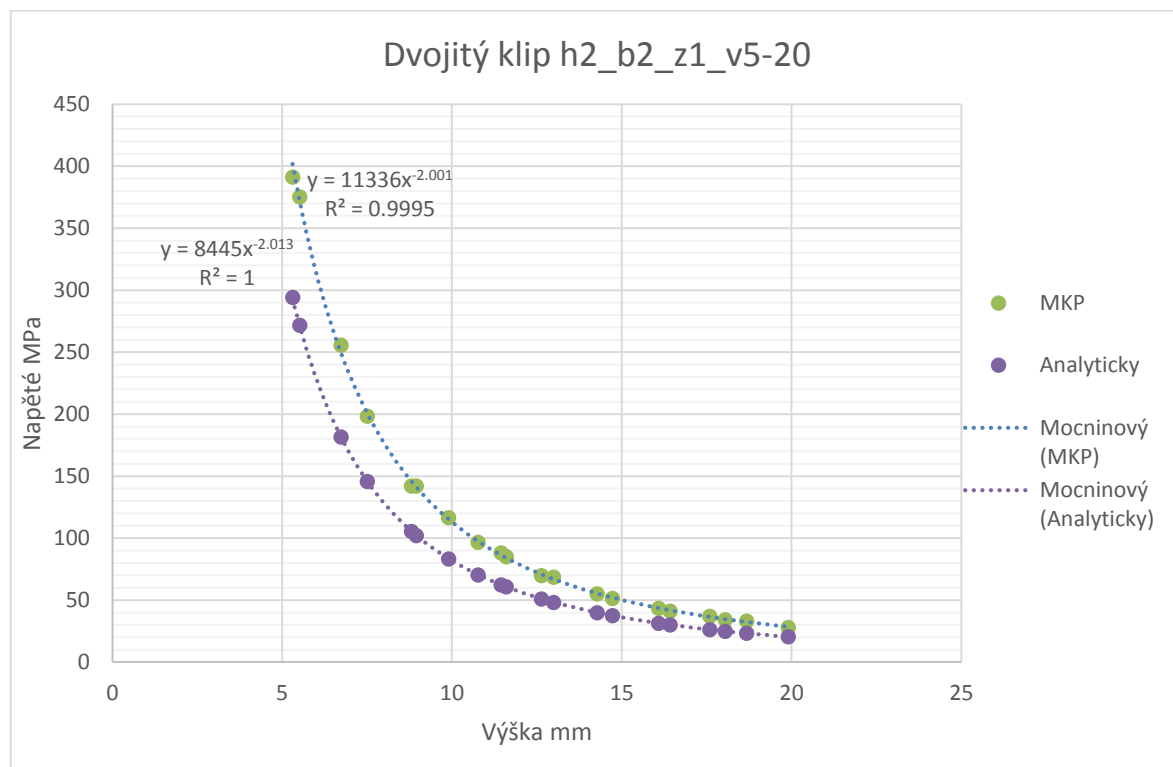
Jednoduchý klip h2_b2_z0,8_v5-20mm

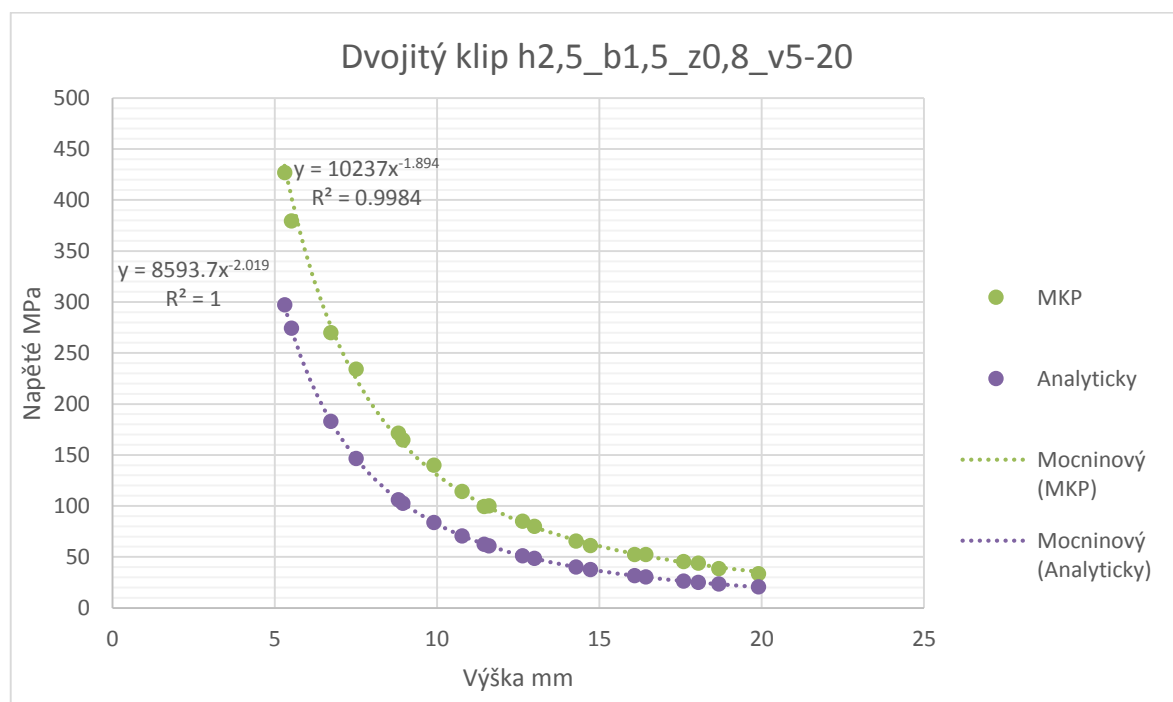
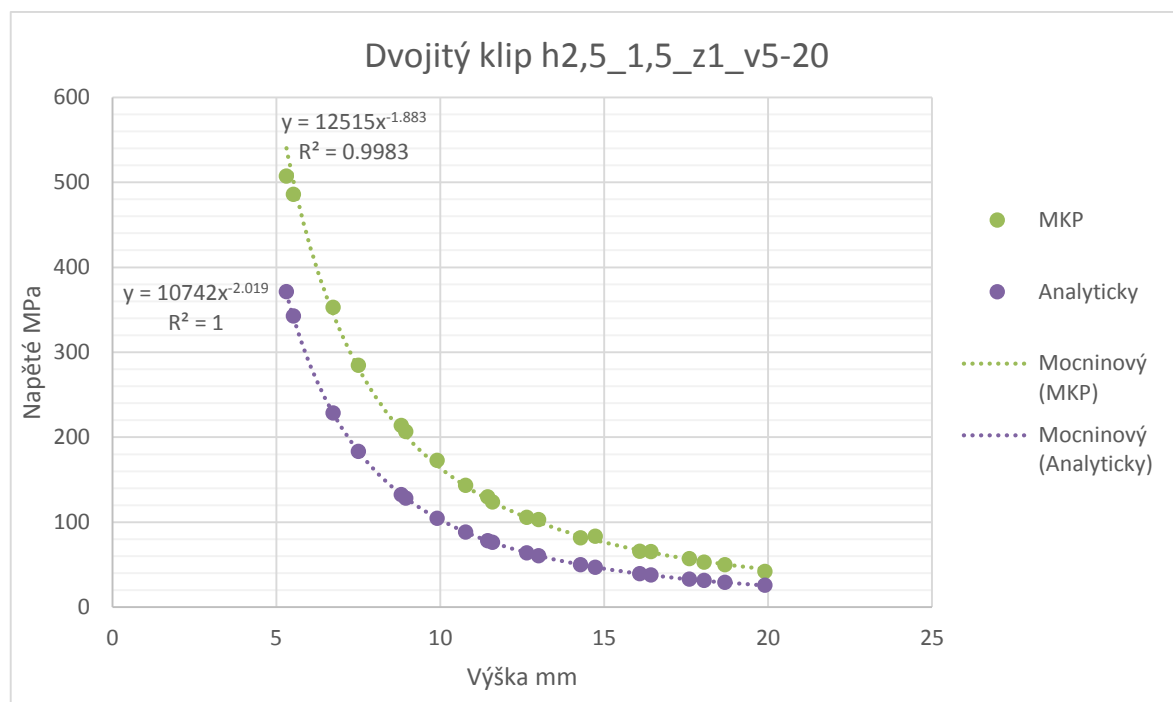


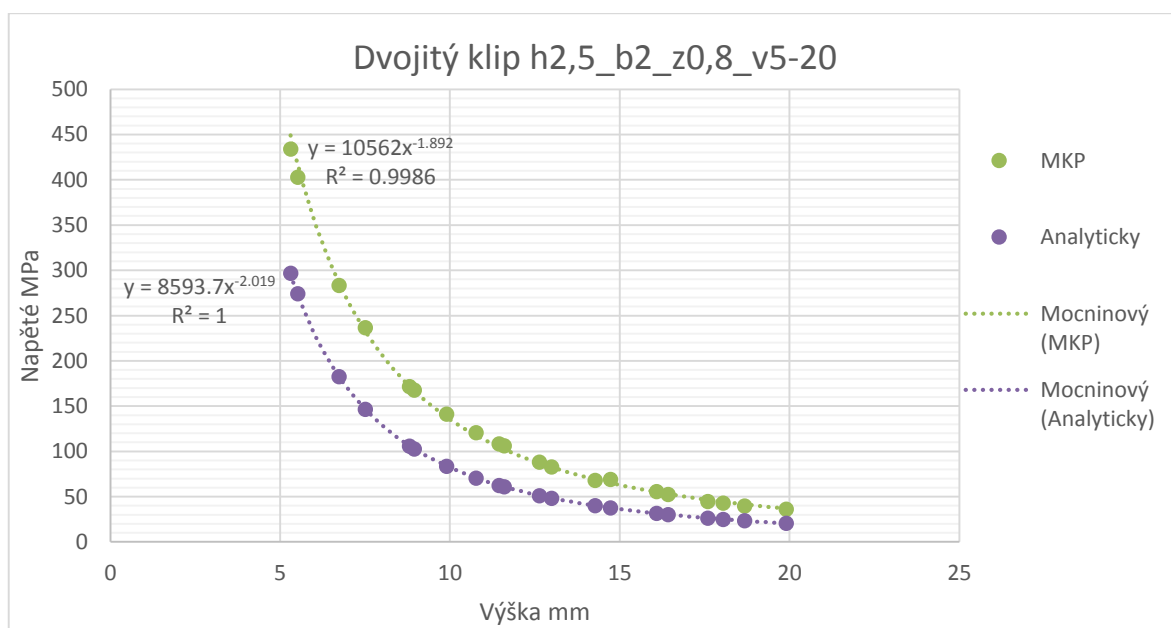
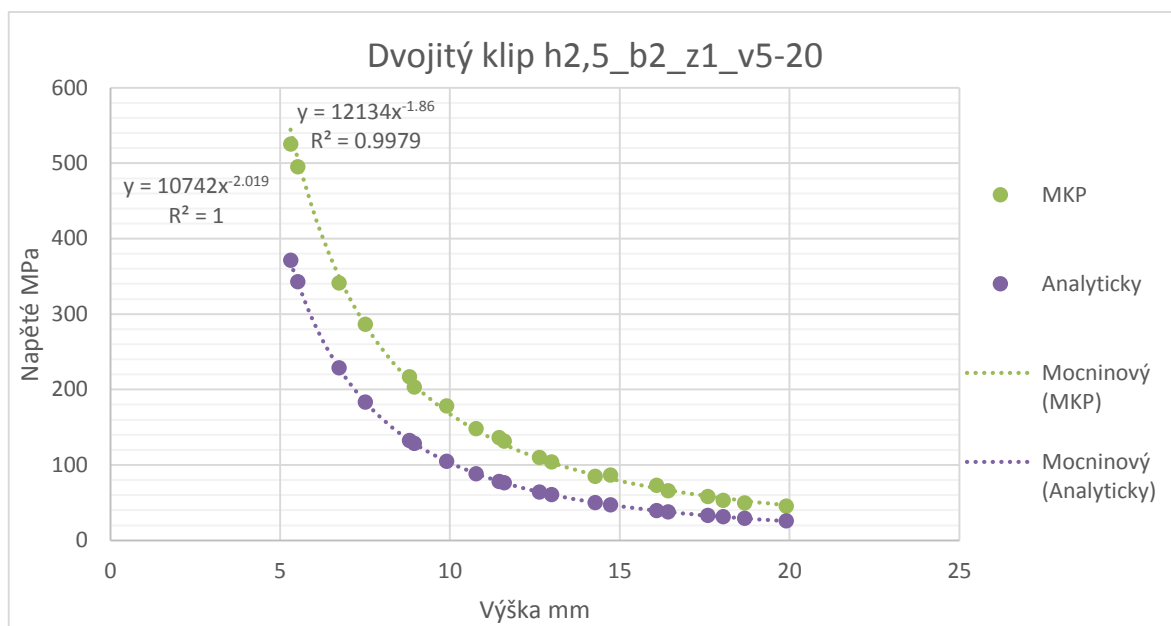
Jednoduchý klip h2_b2_z1_v5-20mm



Příloha 2 Dvojitý klip







Příloha 3 Plochý klip

